



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

## **Determinar el método de sostenimiento mediante el uso de parámetros geomecánicos de la mina Aguas Perdidas en el distrito de Ocaña, Ayacucho**

### **TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo**

### **AUTOR**

**Jorge Andres ESPEJO MONSALVE**

### **ASESOR**

**Víctor TOLENTINO YPARRAGUIRRE**

**Lima, Perú**

**2019**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Espejo, J. (2019). *Determinar el método de sostenimiento mediante el uso de parámetros geomecánicos de la mina Aguas Perdidas en el distrito de Ocaña, Ayacucho*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## **HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS**

**CODIGO ORCID DEL AUTOR:** NO TENGO

**CODIGO ORCID DEL ASESOR:** 0000 – 0003 – 4401 - 8846

**DNI DEL AUTOR:** 74280186

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN:** NO PERTENECIENTE A GRUPO DE INVESTIGACIÓN

**INSTITUTO QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA  
INVESTIGACIÓN:** AUTOFINANCIADO

**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLO LA INVESTIGACIÓN. DEBE INCLUIR  
LOCALIDADES Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

DISTRITO DE OCAÑA, PROVINCIA DE LUCANAS, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 507346E/ 8391486 N

**AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCÓ:**

2 AÑOS (2018-2019)





## Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día martes 22 octubre del año 2019, siendo las 18:00 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

DR. TOMAS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA

(Presidente de Jurado)

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN

(Miembro de Jurado)

ING. MANUEL ZEA AYALA

(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **JORGE ANDRES ESPEJO MONSALVE**, quien sustentará la Tesis titulada: **"DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO"**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCION DEL JURADO

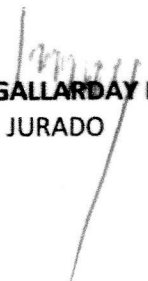
El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

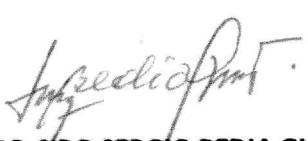
APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA (16) Dieciséis.


Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **JORGE ANDRES ESPEJO MONSALVE**.

Siendo las 19:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 22 de octubre del 2019

  
DR. TOMAS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA  
PRESIDENTE DE JURADO

  
DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN  
MIEMBRO DE JURADO

  
ING. MANUEL ZEA AYALA  
MIEMBRO DE JURADO

---

**Jurado**

**Dr.Ing.Tomás Gallarday Bocanegra**

**Dr.Ing. Ciro Bedia Guillén**

**Ing. Manuel Zea Ayala**

**Asesor**

**Mg. Ing. Víctor Tolentino Yparraguirre**

---

## **DEDICATORIA**

### **A mi padre Dios**

Por darme la oportunidad de llegar a este momento importante de la vida en la que espero agradecer todo lo que se me ha dado hasta ahora y mostrar que siempre está presente en mi vida. Y como amigo fiel siempre estuviste a mi lado y nunca me has abandonado.

### **A mi reina Marjorie Monsalve P.**

Por ser ese motor que me impulsa a ser mejor cada día, demostrar que puedo ser un hombre de bien y ser un buen ejemplo. Gracias por enseñarme el camino de la humildad y que en los momentos malos no hay que perder la esperanza de que siempre llegará un día mejor.

### **A papá Jorge Espejo R.**

Por enseñarme a mantenerme firme a mis principios y enseñarme también que debo ser fuerte para poder ser pilar para otras personas. A siempre esforzarme y mantenerme constante en mis decisiones.

### **A mis hermanos**

Karla, Carlos y Marjorie porque a pesar de todos los abucheos y burlas de buen venir también entendieron la decisión de realizar este trabajo y demostrarme su apoyo. Por animarme en esos momentos que se volvieron tediosos o de duda durante la realización de este trabajo.

### **A mis sobrinos**

Lía, Adriano, Gia y Jorge. Esto es para demostrarles que uno con esfuerzo puede lograr resultados que han de ser beneficiosos para otras personas y que en esta vida si uno se propone a hacer algo lo puede hacer. No pierdan nunca la fe en sus objetivos muchachos, los quiero mucho.

También a aquellos que están siempre presentes y los llevo con mucho cariño en el corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

El siguiente trabajo: **DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO** llega a realizarse gracias al apoyo de la consultora GCI (Geotecnistas, Consultores e Ingenieros) contando con el apoyo del Ing. Jack Arone Padilla y Mg.Ing. Wilson Condori Ccanto por su apoyo en la parte técnica en cuanto a la Geología y el trabajo en minería ,a sus consejos y constante motivación para que este trabajo de investigación llegue a su publicación.

Al Mg. Ing. Jaime Tapia Aguirre que me dio acogida en donde pude adquirir los conocimientos básicos de Geomecánica, necesariamente sin él no se hubiese dado este trabajo de investigación, siempre con su constante apoyo y buen ánimo dándome muestra de un líder que siempre apoya a las personas que trabajan junto con él.

Al Mg. Ing. Víctor Tolentino Yparraguirre por el apoyo durante la adquisición de los datos necesarios para la realización de este trabajo de investigación, la integración de los mismos para poder ser presentado como un producto al final. Muchas gracias por el constante apoyo ingeniero.

Al Msc. Ing. Hugo Rivera Mantilla el cual para mí ha sido un modelo a seguir. Fue mi primer profesor al llegar a las aulas de San Marcos, me enseñó a apreciar la Geología, sobre la importancia que tiene y cómo vivir con ella. Me enseñó la manera correcta de proceder con los actos y siempre esforzarme aun cuando las cosas no salen como uno desea, a no perder la confianza en uno mismo y apostar por lo que se cree.

A mis amigos más cercanos como Giovanni Pedemonte por su incondicional apoyo durante el planteamiento de este trabajo y sus recomendaciones, a Álvaro Gómez por su tiempo y motivación para la culminación de este trabajo, a Manuel Marcelo por sus sugerencias durante todo el desarrollo en conjunto con Irene Yataco, a Neydi Pereyra por brindarme su tiempo y ayudar a conseguir la información requerida ya sin esto no hubiese sido posible el inicio de este trabajo de investigación, a Arnold Melgarejo por sus consejos durante la elaboración de los mapas, a Katherine Huaracc, Edwin Palomino Bustinza y Luis Díaz porque de alguna manera me han motivado y ayudado a realizar lo que hoy se consolida en una obra que aporte y demuestre mi afecto por esta hermosa carrera como lo es la Ingeniería Geológica. Y por supuesto a mi alma mater, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

*En memoria de Juan Gamarra Leiva e Ingrid Mesones Serquén. Muchas veces me acuerdo de ustedes amigos, este trabajo es para ustedes.*

# Tabla de contenido

<i>Resumen</i> .....	12
<i>I. Metodología de la investigación</i> .....	13
<i>Introducción</i> .....	14
<i>1 Generalidades</i> .....	14
<i>2 Situación Problemática</i> .....	14
<i>3 Justificación Teórica</i> .....	15
<i>4 Justificación Práctica</i> .....	15
<i>5 Objetivos</i> .....	15
<i>II. MARCO TEÓRICO</i> .....	16
<i>6 MARCO TEÓRICO</i> .....	17
<i>6.1 Antecedentes en la mina Aguas Perdidas</i> .....	17
<i>6.2 Casos de uso de los parámetros geotécnicos en otras minas</i> .....	18
<i>6.2.1 Caso Minas de Pizarras en España</i> .....	18
<i>6.2.2 Caso de caída de bloques en Mina San Cristóbal de la Compañía minera Volcan</i> .....	22
<i>7 Bases Teóricas</i> .....	26
<i>7.1 Base Teórica sobre Geología</i> .....	26
<i>7.1.1 Formación de las rocas ígneas</i> .....	26
<i>7.1.2 Formación de rocas sedimentarias</i> .....	27
<i>7.1.3 Formación de rocas metamórficas</i> .....	27
<i>7.1.4 Marco Tectónico y magmatismo asociado a la formación de los sistemas filonianos</i> .....	28
<i>7.1.5 Emplazamiento de flujos volcánicos y plutones en la corteza terrestre vinculados a la formación de yacimientos minerales.</i> .....	30
<i>7.2 Base Teórica sobre propiedades mecánicas de las rocas</i> .....	30
<i>7.2.1 Porosidad</i> .....	30
<i>7.2.2 Peso Específico o peso unitario</i> .....	31
<i>7.2.3 Densidad</i> .....	31
<i>7.2.4 Densidad seca</i> .....	31
<i>7.2.5 Densidad Húmeda</i> .....	32
<i>7.2.6 Permeabilidad</i> .....	33
<i>7.2.7 Absorción</i> .....	33
<i>7.2.8 Peso específico aparente</i> .....	33
<i>7.2.9 Carga de Rotura</i> .....	33
<i>7.2.10 Resistencia a la compresión Uniaxial</i> .....	34

7.2.11	<i>Módulo de Young (E)</i> .....	34
7.2.12	<i>Módulo de Poisson (v):</i> .....	35
7.2.13	<i>Martillo de Schmidt (Instrumentación Geotécnica)</i> .....	36
8	<i>Hipótesis general</i> .....	38
9	<i>Hipótesis específica</i> .....	38
10	<i>Identificación de Variables</i> .....	38
III.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	39
11	<b>Tecnología y Métodos</b> .....	40
11.1	<i>Metodología</i> .....	40
11.1.1	<i>Planteamiento de la Investigación</i> .....	40
11.1.2	<i>Compilación de la Información</i> .....	40
11.1.3	<i>Cartografiado y muestreo</i> .....	41
11.1.4	<i>Proceso experimental</i> .....	41
11.1.5	<i>Modelamiento Geomecánico</i> .....	41
11.1.6	<i>Procesamiento de la información e interpretación</i> .....	42
IV.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO- MINA AGUAS PERDIDAS.43	
	<b>CAPÍTULO IV</b> .....	44
12	<b>MINA AGUAS PERDIDAS</b> .....	44
12.1	<i>Ubicación de la mina Aguas Perdidas</i> .....	44
12.2	<i>Clima y Vegetación</i> .....	45
12.2.1	<i>Precipitación e Hidrografía</i> .....	45
12.2.2	<i>Clima</i> .....	45
12.2.3	<i>Vegetación</i> .....	45
12.3	<i>Geología de la mina Aguas Perdidas</i> .....	46
12.3.1	<i>Geología Regional asociada a la mina Aguas Perdidas</i> .....	46
12.3.2	<i>Geología local de la Mina Aguas Perdidas</i> .....	49
12.3.3	<i>Geomorfología</i> .....	49
12.3.4	<i>Litoestratigrafía</i> .....	51
12.3.5	<i>Geología Estructural</i> .....	53
12.4	<i>Aspectos de la Geología Local</i> .....	54
12.4.1	<i>Geología de los socavones y accesos ubicados en la mina</i> .....	54
12.4.2	<i>Geodinámica al exterior en la entrada de la mina del túnel principal</i> .....	56
12.5	<i>Investigaciones Geológico Geotécnicas</i> .....	56
12.5.1	<i>Evaluación de las discontinuidades</i> .....	57
12.5.2	<i>Uso del Martillo de Schmidt para la evaluación de rocas</i> .....	58
12.5.3	<i>Toma de muestras para obtener datos sobre la litología</i> .....	59

12.5.4	<i>Observación y análisis de muestras al microscopio</i>	62
12.5.5	<i>Toma de muestras para propiedades físicas y mecánicas de la roca</i>	65
12.5.6	<i>Resultados de laboratorio</i>	66
12.5.7	<i>Propiedades de la roca intacta</i>	67
12.6	<i>Análisis de estabilidad de las excavaciones</i>	68
12.6.1	<i>Consideraciones sobre las condiciones de estabilidad</i>	68
12.6.2	<i>Análisis de estabilidad y apertura máximas</i>	78
12.6.3	<i>Análisis de estabilidad de excavaciones</i>	84
12.7	<i>Análisis estructural y determinación de sostenimiento alternativo</i>	87
12.7.1	<i>Análisis estructural basado en observación de cuñas</i>	87
12.8	<i>Cálculo y determinación de sostenimiento alternativo</i>	90
12.8.1	<i>Análisis con sostenimiento</i>	90
12.9	<i>Determinación del método de sostenimiento</i>	92
12.9.1	<i>Determinación del método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas</i>	92
12.9.2	<i>Determinación de los métodos de explotación alternativos</i>	94
12.9.3	<i>Aplicación del método de Nicholas</i>	96
12.9.4	<i>Método de Explotación Alternativo – Corte y Relleno</i>	99
12.9.5	<i>Diseño</i>	100
12.9.6	<i>Desarrollo:</i>	100
12.9.7	<i>Preparación:</i>	100
12.9.8	<i>Galería principal</i>	100
12.9.9	<i>Echadero</i>	101
12.9.10	<i>Labores de explotación</i>	101
12.9.11	<i>Relleno</i>	102
13	<i>Demostración de Hipótesis</i>	105
14	<i>Conclusiones</i>	106
15	<i>Recomendaciones</i>	107
16	<i>Bibliografía</i>	108
<i>Anexos</i>		110
<i>Anexo I: Mapas de Ubicación y Mapas Geológicos</i>		111
<i>Anexo II: Planos Geomecánicos</i>		117
<i>Anexo III: Estaciones Geomecánicas</i>		121
<i>Anexo IV: Datos de Laboratorio</i>		131



## Índice de Fotografías

<b>Fotografía 1:</b>	17
<b>Fotografía 2:</b> Ensayo de resistencia a la compresión simple con el Martillo de Schmidt	36
<b>Fotografía 3:</b> Vista panorámica de la zona donde se ubica la mina Aguas Perdidas	45
<b>Fotografía 4:</b> Vegetación alrededor de la Mina Aguas Perdidas.	46
<b>Fotografía 5:</b> Material coluvial de superficie	49
<b>Fotografía 6:</b> Vista panorámica de la morfología en la zona de la mina Aguas Perdidas.	51
<b>Fotografía 7:</b> Ejemplos de formación de cuñas tetraédricas.	51
<b>Fotografía 8:</b> Orientación de las estratificaciones y la excavación de la labor minera.	52
<b>Fotografía 9:</b> Lentes de carbón en la arenisca localizado en Pique Charapa.	52
<b>Fotografía 10:</b> Estructuras tipo Riedel en el socavón mostrando una falla de tipo normal.	53
<b>Fotografía 11:</b> Estrías y superficies entrantes mostrando el sentido Falla	54
<b>Fotografía 12:</b> Areniscas son las que se observan en los accesos.	55
<b>Fotografía 13:</b> Depósitos aluviales a la entrada del socavón.	55
<b>Fotografía 14:</b>	56
<b>Fotografía 15:</b> Buzamiento de la discontinuidad principal de la mina Aguas Perdidas	57
<b>Fotografía 16:</b> Muestra MI con los cortes realizados.	59
<b>Fotografía 17:</b> Muestra fresca MI.	59
<b>Fotografía 18:</b> Corte de la muestra MI	60
<b>Fotografía 19:</b> Corte de la Muestra MV	61
<b>Fotografía 20:</b> Muestra MV	61
<b>Fotografía 21:</b> Corte de la muestra MV.	61
<b>Fotografía 22:</b> Vista al microscopio en nícoles cruzados de la muestra MVM.2.	62
<b>Fotografía 23:</b> Muestra MVM.1 en nícoles cruzados vista al microscopio.	62
<b>Fotografía 24:</b> Venilla de cuarzo que corta a los minerales formadores de roca.	63
<b>Fotografía 25:</b> Muestra MIM.2	63
<b>Fotografía 26:</b> Muestra MIM.1	63
<b>Fotografía 27:</b> Muestra 7.	65
<b>Fotografía 28:</b> Muestra 6	65
<b>Fotografía 29:</b> Muestra 9.	65
<b>Fotografía 30:</b> Muestra 8	65
<b>Fotografía 31:</b> Muestra 10.	65
<b>Fotografía 32:</b> Estación geomecánica	88
<b>Fotografía 33:</b> Cuña N°2 y su respectivo trazo.	89
<b>Fotografía 34:</b> Cuña N°3 y su respectivo trazo a la derecha.	90

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Ratio de explotación/costo de explotación. Modificado de Taboada et al. 1988	18
<b>Gráfico 2:</b> Ploteo de datos según la descripción macroscópica realizada en gabinete. El punto cae en el campo de las tonalitas.	60

## Índice de imágenes

<b>Imagen 1:</b> Formación de cuñas.....	21
<b>Imagen 2:</b> Esquema donde se resumen el ciclo de las rocas a manera de resumen gráfico sobre el origen de las distintas clases de rocas. ....	28
<b>Imagen 3:</b> Mapas termales con los cuales se observa el comportamiento de las plazas de Nazca y Sudamericana. Se observan también la topografía al lado derecho a partir de las mediciones termales. ....	29
<b>Imagen 4:</b> Gráfico donde se muestran curvas Humedad vs Densidad después realizada la prueba de Proctor. ....	32
<b>Imagen 5:</b> Proporciones usadas para calcular el módulo de elasticidad E.....	35
<b>Imagen 6:</b> Ruta comprendida desde Lima a Nazca. ....	44
<b>Imagen 7:</b> Ubicación de la mina Aguas Perdidas en la columna del Grupo Yura.....	48
<b>Imagen 8:</b> Columna estratigráfica local del Grupo Yura. ....	52
<b>Imagen 9:</b> .....	64
<b>Imagen 10:</b> Fotografías de la muestra MI en el microscopio. ....	64
<b>Imagen 11:</b> Se observan las probetas de M-8 y M-10 como resultados de compresión triaxial. ....	67
<b>Imagen 12:</b> Análisis del estereograma en la Estación 01 en la mina Aguas Perdidas .....	70
<b>Imagen 13:</b> Análisis del estereograma en la Estación 02 en la mina Aguas Perdidas .....	71
<b>Imagen 14:</b> Análisis del estereograma en la Estación 03 en la mina Aguas Perdidas. ....	72
<b>Imagen 15:</b> Análisis del estereograma en la Estación 04 en la mina Aguas Perdidas .....	73
<b>Imagen 16:</b> Análisis del estereograma en la Estación 05 en la mina Aguas Perdidas. ....	74
<b>Imagen 17:</b> Análisis del estereograma en la Estación 06 en la mina Aguas Perdidas. ....	75
<b>Imagen 18:</b> Análisis del estereograma en la Estación 07 en la mina Aguas Perdidas. ....	76
<b>Imagen 19:</b> Análisis del estereograma en la Estación 08 en la mina Aguas Perdidas .....	77
<b>Imagen 20:</b> Análisis del estereograma en la Estación 01N en la mina Aguas Perdidas .....	77
<b>Imagen 21:</b> Diagrama de roseta mostrando la frecuencia con respecto a su orientación de las discontinuidades en mina Aguas Perdidas.....	78
<b>Imagen 22:</b> .....	83
<b>Imagen 23:</b> Estabilidad de la labor y se observa los desplazamientos horizontales teóricos en mina Aguas Perdidas. ....	85
<b>Imagen 24:</b> .....	85
<b>Imagen 25:</b> Desplazamientos totales en mina Aguas Perdidas .....	86
<b>Imagen 26:</b> Estabilidad de labor en condiciones pseudoestáticas en Aguas Perdidas. ....	86
<b>Imagen 27:</b> Factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas de labor en mina Aguas Perdidas.....	87
<b>Imagen 28:</b> Modelamiento de cuñas.....	88
<b>Imagen 29:</b> Lado derecho las cuñas. ....	89
<b>Imagen 30:</b> Cuñas de la labor.....	90
<b>Imagen 31:</b> Sostenimiento con pernos en condiciones estáticas- Mina Aguas perdidas .....	91
<b>Imagen 32:</b> .....	91
<b>Imagen 33:</b> Ábaco para el espaciamiento de pernos de anclaje .....	94
<b>Imagen 34:</b> Esquema de explotación subterránea.....	101
<b>Imagen 35:</b> .....	103
<b>Imagen 36:</b> Circado de veta, ancho de veta y ancho de trabajo. ....	104
<b>Imagen 37:</b> Malla de perforación con circado de veta. ....	104

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1 :</b> Resultados de laboratorio obtenidos durante el levantamiento geotécnico .....	19
<b>Tabla 2:</b> Características geomecánicas de los distintos niveles donde se levantaron los puntos geomecánicos en minas de Pizarra .....	19
<b>Tabla 3:</b> Parámetros contemplados en el Q de Barton para la Zona Lidia, Nivel 738 .....	23
<b>Tabla 4:</b> Resumen que correlaciona el índice GSI, RMR, Q y tiempo de autosoporte .....	25
<b>Tabla 5:</b> Tipos de discontinuidades encontradas- mina Aguas Perdidas.....	57
<b>Tabla 6:</b> Todos estos datos pertenecen a la entrada norte del nivel 1465.....	58
<b>Tabla 7:</b> Datos de las familias principales de discontinuidades. ....	58
<b>Tabla 8:</b> Resumen de los valores obtenidos por ensayos del martillo de Shmidt. ....	59
<b>Tabla 9:</b> Resumen de las muestras enviadas a laboratorio GEOMECH.....	66
<b>Tabla 10:</b> Resultados de propiedades físicas de las muestras extraídas – Laboratorio GEOMECH .....	66
<b>Tabla 11:</b> Resultado de propiedades elásticas – laboratorio GEOMECH.....	66
<b>Tabla 12:</b> Resultados de ensayo de compresión triaxial – laboratorio GEOMECH.....	67
<b>Tabla 13:</b> Resumen de propiedades de la roca intacta – laboratorio GEOMECH .....	67
<b>Tabla 14:</b> Familias de discontinuidades con sus respectivos buzamientos y direcciones de buzamiento promedios encontradas de las estaciones geomecánicas de la mina Aguas Perdidas. ....	78
<b>Tabla 15:</b> Clasificación geomecánica del macizo rocoso. ....	79
<b>Tabla 16:</b> Clasificación Q de Barton. Fuente (Osingermin, 2017).....	80
<b>Tabla 17:</b> Tabla de clasificación de GSI.....	80
<b>Tabla 18:</b> Formato usado para mostrar la reunión de datos obtenidos en campo donde se muestran los resultados de la clasificación geomecánica.....	81
<b>Tabla 19:</b> Resumen de Valores de RMR, Q y GSI por Estaciones Geomecánicas.....	81
<b>Tabla 20:</b> Ubicación de las estaciones geomecánicas en mina Aguas Perdidas. ....	82
<b>Tabla 21:</b> Categorías de excavaciones .....	82
<b>Tabla 22:</b> Máxima abertura de excavación autosustentable .....	83
<b>Tabla 23:</b> Datos de las estaciones geomecánicas, densidad promedio de la roca estudiada y la fuerza de la densidad de roca sobrepuesta a las labores (Sv). ....	84

## ***Resumen***

La mina Aguas Perdidas se encuentra ubicada en el distrito de Ocaña, departamento de Ayacucho. A su vez se localiza dentro del emplazamiento dado por el Batolito de la Costa que propicia una zona donde existe mineralización por lo que se puede encontrar depósitos minerales originados a partir de la intrusión de este. La mineralización económica es de cobre, plata, oro, zinc y otros elementos asociados. Las estructuras en vetas de manera general y a nivel regional tienen una orientación andina similar al de la Cordillera Occidental, éstas vetas se disponen en “tipo rosario” por lo que el espesor de las vetas tiende a interrumpirse en la longitud de su recorrido.

Se tomó datos de las rocas del subsuelo teniendo en cuenta los parámetros geomecánicos para definir el método de sostenimiento y el tipo de explotación. Así se realizó un trabajo de campo donde se observa el tipo de rocas, diferentes estructuras donde posteriormente son complementadas con un muestreo y un análisis de laboratorio determinándose de sus propiedades físicas y mecánicas. Luego todos estos datos compilados son mostrados en planos geológicos y geomecánicos partiendo desde una base topográfica. Se recogen los resultados de laboratorio de las muestras extraídas y las recomendaciones relativas a los aspectos estudiados. Una vez recogidos estos resultados de laboratorio es preciso observar con detenimiento estos para tener una idea sobre cómo se van a procesar los datos. Una vez obtenida la manera sobre la cómo abordar el trabajo de acuerdo a los datos obtenidos se procede a filtrarlos según convenga y adecúe al proyecto.

Los datos se registran a través de tablas, a su vez se generan modelos teóricos sobre la disposición de labores en interior mina, así se usan los diferentes softwares tales como el Dips v.6.0, Undwedge v.3.0, y Phase<sup>2</sup> v.8.0 donde se observará la orientación de las labores, la diferenciación de las estructuras vistas en campo de acuerdo a ciertos criterios. Posteriormente estos datos se adjuntan en formatos que muestran los valores tomados en campo tales como calificaciones del macizo rocoso, orientaciones de las estructuras y la foto respectiva de cada punto descrito en los formatos.

De manera adjunta se muestran gráficos sobre estimación de la estabilidad excavaciones, formación de cuñas de las labores en interior mina, calificación del tipo de roca de la excavación y por último la recomendación sobre el tipo de sostenimiento, mostrando una manera sistemática de cómo suministrarían los elementos competentes en lo que al sostenimiento refiere la alternativa de colocar pernos de anclaje o cementados según correspondan así pensando en realizarse para llevar a cabo el éxito del proyecto a partir de este trabajo de investigación.

## *I. Metodología de la investigación*

# ***CAPÍTULO I***

## ***Introducción***

### ***1 Generalidades***

Este estudio define el tipo de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas a partir de parámetros geomecánicos, así como el método explotación adecuado según los requerimientos de mina.

Para ello, se procedió a realizar una campaña de campo con toma de datos geológicos; así como la toma de muestras para establecer la mineralogía de las rocas, sus propiedades físicas y mecánicas mediante la observación al microscopio en conjunto con ensayos de mecánica de rocas. Complementariamente se hace un estudio de microscopía sobre los tipos de rocas observados en campo. Todo esto será citado convenientemente en el marco teórico y se expondrá más adelante.

### ***2 Situación Problemática***

En la mina Aguas Perdidas no existe un sostenimiento adecuado satisface estándares recomendados para el desarrollo de la actividad minera. El personal que ejecuta y desarrolla estas labores se ven expuestos ante la eventual caída de bloques de rocas, así como los equipos usados; todo esto a su vez podría comprometer a la producción de la mina y por tanto causar grandes pérdidas. La determinación de parámetros geomecánicos en la mina es una interrogante ya que no se han realizado estudios sobre este tema anteriormente por lo que representa junto con el sostenimiento un problema a resolver. De aquí se desprenden dos problemas:

**Problema General:** ¿Cuál el método sostenimiento adecuado para las labores de explotación en la mina Aguas Perdidas?

**Problema Específico:** ¿Cuáles son los elementos a usarse como herramientas en la aplicación del método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas?

### ***3 Justificación Teórica***

Este trabajo descriptivo se fundamenta a partir del conocimiento en Geología aplicada a obras ingenieriles. Por lo que llama a la reflexión sobre la importancia de los conocimientos teóricos como un buen sustento al usarlos en la realidad como lo es el sistema de sostenimiento óptimo para el caso de la mina Aguas Perdidas.

### ***4 Justificación Práctica***

La justificación práctica recae en saber qué método de sostenimiento indicado para la mina Aguas Perdidas, debido a que es necesario evitar pérdidas humanas y económicas así también tener la idea de contribuir con la nueva producción de conocimiento en el área de estudio con la generación de nuevos datos en los que puedan apoyarse futuros proyectos de investigación con fines netamente académicos o también para poder realizar trabajos similares en zonas de condiciones similares a la encontrada en la mina Aguas Perdidas.

### ***5 Objetivos***

General

- Determinar el tipo y metodología adecuada para aportar en la recomendación del método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas.

Específicos

- Caracterizar la geología regional y local de la mina Aguas Perdidas (litología, alteraciones, estructuras).
- Determinar y usar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso.
- Determinar los coeficientes de sismicidad necesarios para poder simular el comportamiento de los materiales geológicos ante eventuales sismos.

## II. MARCO TEÓRICO



## 6 MARCO TEÓRICO

En esta parte tomaremos lectura sobre trabajos similares realizados en otras minas con lo cual tendremos una vista general sobre el trabajo realizado en la mina Aguas Perdidas. Conceptuaremos los elementos usados para el análisis geomecánico y veremos la relación de estas con las cuales podría plantear la más correcta interrelación de las mismas.

### 6.1 Antecedentes en la mina Aguas Perdidas

No existen en realidad antecedentes de trabajos previos que hayan sido realizados en la mina Aguas Perdidas. Muchas minas en el Perú, para ser más claros, en las labores de minas artesanales no existe sostenimiento de las labores mineras o si existe estas no son realizadas de manera adecuada. Las causas principales por las que se puede observar este componente faltante dentro de la actividad minera es la falta de cultura de prevención. Es necesario que los trabajadores mineros sean conscientes de la responsabilidad y envergadura que requiere este trabajo, de tal manera que sea posible aplicar el sostenimiento.



**Fotografía 1:**

*Muestra un sistema de arcos usados como sostenimiento en el socavón San Luis a 4700 msnm en Potosí Bolivia. Tomado del Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas SERGEOTECMIN*

Otra de las causas por las cuales el sostenimiento en las labores mineras es precario por causa de la falta de recursos económicos o también por la mala distribución de los mismos.

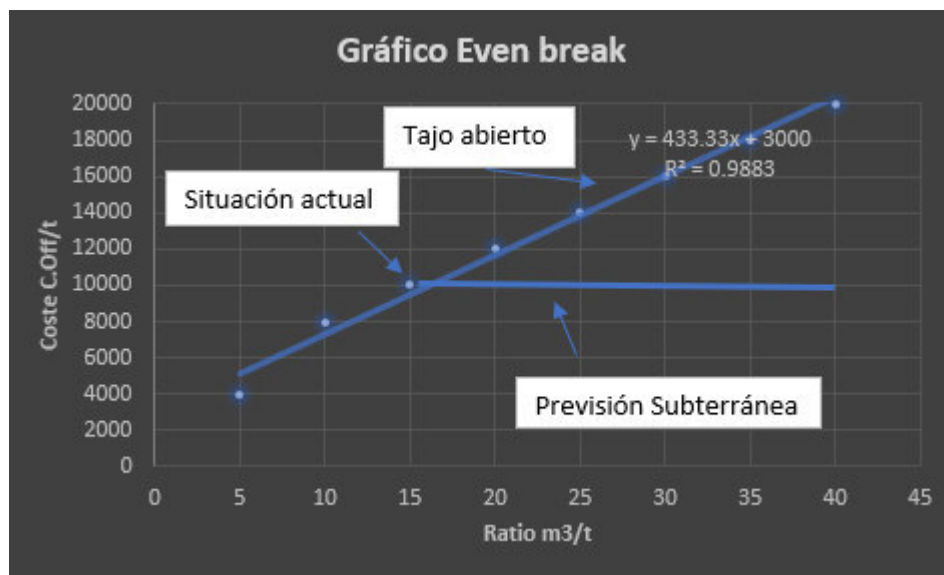
La idea principal que se quiere dar en este apartado radica sensibilizar a la gente más que una causa de tipo económica, el incentivo de una cultura de conciencia en seguridad laboral con lo cual se pueden evitar la pérdida de vidas humanas y por tanto a su vez no

incurriríamos en pérdidas económicas y retraso de la explotación de los recursos minerales de los cuales hablamos.

## 6.2 Casos de uso de los parámetros geotécnicos en otras minas

### 6.2.1 Caso Minas de Pizarras en España

En el caso de esta mina (entiéndase la palabra mina para este contexto lo que en Perú es conocido como cantera) en España se tuvo un problema con el método de minado debido a que la explotación a tajo abierto de roca pizarra llegaba al límite económico en términos de rentabilidad de su explotación por lo cual se pensó en realizar un minado mixto y se plantea realizar la explotación a nivel subterráneo. Para este caso se tiene la consideración de disminuir la cantidad de escombros, en algunos casos esta cantidad supera el 90% durante alguna de las operaciones de su proceso de explotación aún sin contar el desmonte que se forma a partir de los materiales suprayacentes (TABOADA et al (Dimensionamiento y sostenimiento en minas subterráneas de Pizarra, 1994).



**Gráfico 1:** ratio de explotación/costo de explotación. *Modificado de Taboada et al. 1988*

A partir de esto se diseña un planteamiento de estudio de los parámetros geomecánicos para hacer posible su explotación.

Se procedió a realizar una caracterización geotécnica del macizo rocoso y ver los parámetros que intervendrán para el diseño del sostenimiento para el nuevo método de explotación. En este caso debido a que son pizarras se ha asignado una serie de parámetros geotécnicos a cada tipo litológico, a partir de unos valores promedio de los resultados arrojados por los diversos ensayos de laboratorio realizados, estos pueden observarse en

la tabla de parámetros geotécnicos mostrados a continuación. En ellos ha quedado patente la marcada anisotropía de la pizarra y su diferente comportamiento a favor o en contra de la esquistosidad de flujo, según (GARCÍA, 1986).

CUADRO RESUMEN DE PARAMETROS GEOTECNICOS POR UNIDADES ESTRATIGRAFICAS													
UNIDAD	Compresión simple Mpa		Ultras. cm/us	Tracción Mpa	TRIAXIAL						MODULO YOUNG Mpa		COEFICIENTE POISSON
					PARALELO			PERPENDICULAR					
	Paralelo	Perfid.			C Mpa	φ	R. Tracc. Mpa	C Mpa	φ	R. Tracc. Mpa	Long.	Trans.	
I	97,339	141,698	1,23	17,999							66000	268400	0,28
II	106,029	107,550	0,69	11,679	19,972	43	20,298	30,255	40	35,700	53700	252600	0,25
III	75,409	135,446	0,17	16,831	20,079	47	18,380	38,954	44	59,782	49100	315000	0,10
IV	51,947	113,589	0,82	17,993	10,975	52	9,190	21,655	48	23,486			
V		145,809	0,18	7,834									
VI		154,102	1,73	21,732							52900	612200	0,14
VII		73,422	0,88	17,068							48200	407400	0,085
VIII	61,139	128,632	2,02	12,510	14,545		15,341	7,803	61	4,325	59800	1013000	0,17
IX	59,568	82,090	0,89	10,031	4,253	59	3,295	5,304	63	2,713	57100	154400	0,29
X		51,530	0,12								58500	89600	0,11
ME: DIA	75,239	113,387	0,87	15,730	13,964	50,39	13,301	20,794	51,31	25,201	55700	389100	0,18

**Tabla 1 :** se muestran los resultados de laboratorio obtenidos durante el levantamiento geotécnico (Fuente: TABOADA et al. 1994)

Como segunda parte se basa un levantamiento geomecánico de las discontinuidades del macizo rocoso y en la evaluación de las características geotécnicas, en base a las clasificaciones geomecánicas de Bienawski (1974) y Barton (1977) y sus índices de calidad, comprobando la correlación entre ambos tipos de materiales. Estas se muestran en la siguiente tabla.

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO							
UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		CLASIFICACION BIENIAWSKI					CLASIFICACION BARTON
		INDICE RMR	CALIDAD	CLASE	C(Kp/cm <sup>2</sup> )	φ	INDICE Q
I	Pizarra, arenisca y cuarcita	70	Buena	II	3,5	40	17,97
II	Pizarra capa Fraguña	66	Buena	II	3-3,5	35-40	11,52
III	Pizarra con laminaciones (techo)	70	Buena	II	3,5	40	17,97
IV	Arenisca, pizarra y cuarcita	65	Buena	II	3-3,5	35-40	10,31
V	Pizarra filoneta	55	Media	III	2,5-3	30-35	3,39
VI	Cuarcita	65	Buena	II	3-3,5	35-40	10,31
VII	Pizarra con laminaciones	54	Media	III	2,5-3	30-35	3,04
VIII	Pizarra grano muy fino	53	Media	III	2,5-3	30-35	2,72
IX	Pizarra, arenisca y cuarcita	46	Media	III	2,5-3	30-35	1,29
X	Pizarra con cantos	31	Mala	IV	1,5	20	0,24

**Tabla 2:** características geomecánicas de los distintos niveles donde se levantaron los puntos geomecánicos en minas de Pizarra (Fuente: TABOADA et al. 1994).

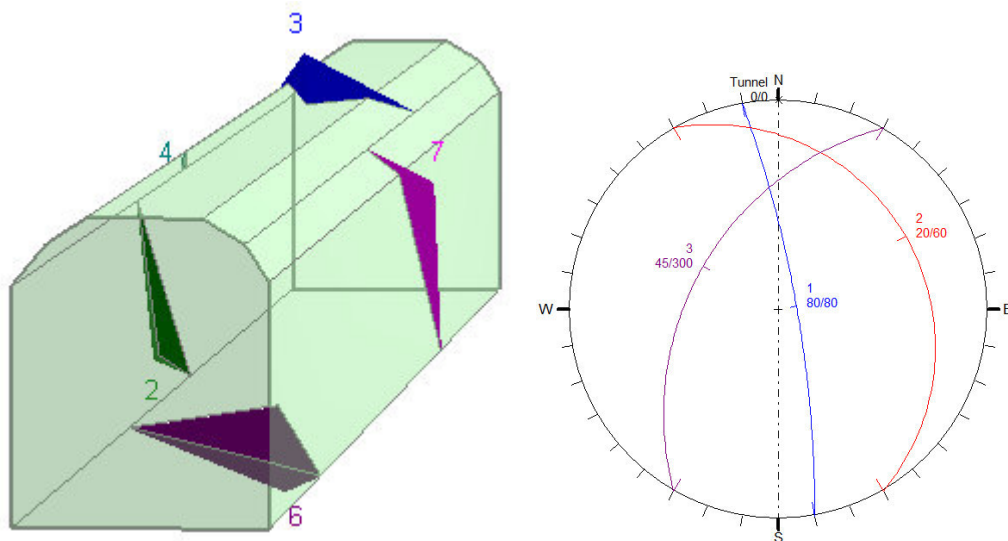
Después de haber realizado estos levantamientos se procedió a realizar cálculos sobre el sostenimiento teniendo como referencia los métodos de cálculo empírico y de elementos finitos, cada uno sirviendo en el orden mencionado anteriormente para realizar el diseño del sostenimiento a partir del estudio de los parámetros antes mencionados. Con el método empírico se calculó al ancho y largo de los pilares que debieron dimensionarse de acuerdo al material suprayacente y con el método de elementos finitos el estudio de las estructuras que han de colocarse durante la explotación del mineral en cuestión. Sin embargo, nos vamos a centrar en el análisis de cuñas que es uno de los principales problemas que más se aproxima a nuestro estudio en la mina Aguas Perdidas.

De acuerdo al contexto en el que se desarrolla el problema se usó el criterio de Hoek & Brown ya que este se adecúa más para rocas, este método es más empírico y no tiene una base matemática tan definida en comparación del modelo de Mohr Coulomb. En este método tenemos en consideración el estado de tracción y los estados tensionales de compresión uniaxial y triaxial que hacen de alguna manera una caracterización más cercana a las condiciones naturales en las que se encuentra el macizo rocoso. Las caídas de bloques por generación de cuñas son debidas a la gravedad y dependerán de la geometría y tamaño de la excavación, de la estructura del macizo rocoso y de las tensiones existentes alrededor de la sección excavada. La forma de los bloques que aparecen dependerá de los números planos que delimitan cada bloque, de la orientación y buzamiento de los mismos.

En cuanto a las tensiones, éstas pueden llegar a alcanzar un punto donde se produce el debilitamiento de la roca circundante, estas sostendrán en cuenta siempre que los esfuerzos superen la quinta parte de la resistencia a la compresión simple obtenida de la briqueta. Así se tuvo que las máximas tensiones se producen en los elementos esquina formados por la intersección de los hastiales con la solera, así como en la parte superior de la bóveda. (TABOADA & TABOADA, 1994).

De acuerdo a este estudio se obtuvo que el problema del sostenimiento era sobre todo de tipo geométrico debido a que el estado tensional al que se vieron sometidos los bloques de roca no eran lo suficientemente fuertes como para provocar el colapso de los mismos, así que la observación en algunos lugares consistió en tener cuidado con algún colapso a nivel de soleras en la mina, aunque estos no representaran un verdadero peligro durante el minado. A nivel de hastiales se observó que en lugares donde se encontraron fallas o zonas de falla no se cuente con la cohesión debido a que esta es cero.

Así este es un muy buen ejemplo del estudio de los parámetros geomecánicos para poder realizar una deducción sobre los requerimientos necesarios para diseñar un tipo de sostenimiento. Tal es el caso en esta mina que se verificó el estado de compresión al estar sometida la roca determinándose un comportamiento elástico según las medidas y características geológicas como el estado de anisotropía a favor del minado calificándose como una roca buena. De todas maneras, se recomendó realizar sostenimiento con pernos de anclaje en los hastiales y, de todas formas, se propone un sostenimiento sistemático a base de pernos de anclaje repartido en hastiales aplicado junto al gunitado en bóveda para minimizar los efectos de las voladuras en las labores, así como para prevenir la formación de cuñas, y aumentar el factor de seguridad. De todas maneras, es imperativo recalcar que durante el avance de las labores es necesario repasar los puntos antes mencionados e inspeccionar los nuevos lugares donde podrían formarse cuñas y realizar trabajos de sostenimientos estos con pernos de anclaje. A continuación, simulamos en el *software* como se vería la formación de cuñas en hastiales, bóveda y contrapiso de un crucero en esta mina de pizarras en España. Los datos a observarse se presentan en el sistema *Dip/Dip Direction*. La dirección del crucero presenta una dirección de  $0^\circ$  y una inclinación de  $0^\circ$ , los datos de las familias de diaclasas son  $80^\circ/80^\circ$  y  $20^\circ/60^\circ$  mientras los datos de foliación de las filitas serían de  $45^\circ/300^\circ$ . De nuevo resaltar que estos datos se muestran de manera práctica para simular las condiciones de la mina.



**Imagen 1:** Véase la formación de cuñas ilustrando el criterio geométrico antes mencionado. Visualizamos que la cuña 2 resulta de la intersección de las familias 1 y 3 (líneas azul y lila); la cuña 3 se produce por la intersección de las familias 1, 2 y 3; la cuña 7 se produce a partir de la intersección de las familias 1 y 2 (líneas azul y rojo) y por último la formación de la cuña 6 que es producto de las familias 1, 2 y 3. Sin

*embargo, las cuñas proximas a la 6 o en un vértice inferior que corresponde a la sección del contrapiso no representarían mayor peligro. (Fuente: del autor)*

### **6.2.2 Caso de caída de bloques en Mina San Cristóbal de la Compañía minera Volcan**

En este caso se observó un planteamiento más completo sobre cómo hay que abordar el tema de la evaluación del sostenimiento a partir del análisis de los parámetros geomecánicos ya mencionados en el inicio de este trabajo de investigación. Se provee el tema de la gestión en seguridad que debe ser definitivamente uno de los temas principales que deben observarse en la pequeña minería y minería artesanal. Este tema que pertenece a uno de los elementos referentes al tema de herramientas de gestión que serán mostradas en este apartado más adelante.

Se evaluó el contexto donde se realizarían los trabajos de levantamientos geomecánicos. Los niveles estudiados fueron 500, 580, 630, 870, 920, 1020 y 1070. Para los niveles 500, 580 y 630 se mantiene una carga de confinamiento de 200m de profundidad respecto a la superficie, la roca observada son filitas y niveles de roca caliza como caja en algunas partes. Para los niveles 870, 920, 1020 y 1070 se tiene más consideración el efecto de la carga litostática agravándose por el grado de fracturamiento y el grado de fluencia del agua presente. En esta mina se tienen estimadas rocas de tipo III, estas rocas se consideran regulares o de calidad media (González de Vallejo, 2002) donde a su vez se observaron condiciones de flujo regular de aguas por lo que se necesitaba realizar bombeos hacia niveles superiores. Se la calificó con un GSI de MF/R-P, IF/R con lo que se verifica que la colocación de elementos para el sostenimiento debe ser inmediata. Hablamos de un auto sostenimiento de máximo tres días para evitar cualquier tipo de colapso durante las labores de explotación (Pardo Ferrer, 2014).

Una vez se contextualizó los niveles en los que se elaboraría los trabajos se procedió a realizar levantamientos geomecánicos a través del tipo de cartografiado geomecánico por celdas (Osinermin, 2017, pág. 25) según las clasificaciones RMR<sub>89</sub> (Rock Mass Rating) (Osinermin, 2017, pág. 25), Q de Barton (Índice de calidad del macizo rocoso) para después correlacionarlo con el GSI (*Geological Strength Index*). Una vez se obtuvieron estas clasificaciones se pudo recomendar un tipo de sostenimiento.

Como observación importante durante el análisis de calificación del macizo rocoso es debido saber que los datos se tienen de una muestra de roca intacta, mientras que el trabajo



realizado se realizó en un área con muchas discontinuidades y la existencia de un factor de goteo lo que hace que el RMR no nos arroje las puntuaciones “reales” por lo que en la realización del RQD se trató de compensar este tipo de apreciación mediante un “castigo de valores”.

La recomendación del Dr. Denis Shannon, presidente del “Northern Centre for Advanced Technology” (NORCAT) con sede en Canadá sugiere la multiplicación por un valor numérico de 4 al producto de discontinuidades registradas en campo dividida en el metraje observado cuando no se tienen a disposición muestras de sondajes.

$$RQD = 100 - 4 [n^{\circ} \text{fracturas} / \text{distancia observada (m)}]$$

Entonces se mostró el RQD de las zonas presentadas en el Cuadro de RMR

$$RQD_{\text{Zona Baja}} = 100 - 4(50/5) = 60\%$$

$$RQD_{\text{Zona Alta}} = 100 - 4(60/5) = 52\%$$

$$RQD_{\text{Zona Lidia}} = 100 - 4(65/5) = 48\%$$

Fuente: (Pardo Ferrer, 2014, pág. 60)

Después se realizó un Q de Barton que se muestra en el siguiente cuadro:

PARÁMETROS	RANGO	VALOR
RQD %	Regular	48
Discontinuidades	Dos sistemas de fisuras	3
Rugosidad	Ligeramente rugosas	3
Alteración	Presencia de arcilla	2
Agua subterránea	Presiones medianas	1.0
Factor de reducción de Esfuerzos (SFR)		5
Q=RQD: Jn x Jr: Ja x SRF: Jw	0.48/3x3.0/2x5/1.0	1.2

**Tabla 3:** de parámetros contemplados en el Q de Barton para la Zona Lidia, Nivel 738.

Fuente: adaptado de (Pardo Ferrer, 2014, pág. 62)

$$RMR=9\ln Q+44$$

$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89}$  castigado con el valor de 5

$RMR_{89} < 23$  Luego se continuó con el Cálculo del Q de Barton

Al  $GSI = RMR$  castigado 5 = 45;  $RMR = 9\ln Q + 44$  así tenemos un  $Q = e^{1/9(RMR-44)}$

Así se obtuvo para la Zona Alta un valor de 3.39 mediante el siguiente cálculo:

$$Q_{Zona\ Alta} = e^{1/9(RMR-44)} \text{ y como el } RMR=53 \rightarrow Q_{Zona\ Alta} = e^{1/9(53-44)} = 3.39$$

Para el GSI de la empresa que realizó este tipo de análisis se tuvo que de acuerdo al valor obtenido lo recomendable sería un sostenimiento de empernado sistemático no tensionado y cementado, con un espaciado de gunitado de un 1m entre pernos. A su vez el gunitado debería tener un espesor de 2.5cm.

Después se procede a calcular el claro máximo sin sostenimiento, también conocido como espaciado máximo sin sostenimiento.

$$\text{Espacio(m)} = 2 \times ESR \times Q^{0.4} = 2 \times 1.6 \times (3.39)^{0.4} = 5.21\text{m}$$

Donde:

ESR: factor para una excavación minera permanente

Q: parámetro para valoración del macizo rocoso.

Para la Zona Baja se tuvieron los siguientes datos a disposición:

$$RMR = 54; Q = e^{1/9(RMR-44)} \rightarrow Q_{Zona\ Baja} = e^{1/9(54-44)}$$

$$Q = 3.03$$

De acuerdo al estándar de la mina se recomendó un sostenimiento con pernos colocados de manera sistemática de pernos que no estén tensionados y sean cementados, el espaciado entre pernos para su colocación se estimó en 1m y el espesor del gunitado de 2.5 de espesor.

El cálculo del espaciado máximo sin sostenimiento se calcula ahora con:

$$\text{Espaciado (m)} = 2 \times ESR \times Q^{0.4} = 2 \times 1.6 \times (3.03)^{0.4} = 4.99\text{m}$$

Por último, para la Zona Lidia se obtuvo lo siguiente:



$$\text{RMR} = 48; Q = e^{1/9(\text{RMR}-44)} \rightarrow Q_{\text{Zona Lidia}} = e^{1/9(48-44)} = 1.55$$

Con el Q obtenido en la zona lidia y el estándar de mina se recomendó de la misma manera un empernado sistemático no tensionado y sistemático, con un espaciado de 1m y un gunitado de 2.5cm de espesor.

$$\text{Espaciado (m)} = 2 \times \text{ESR} \times Q^{0.4} = 2 \times 1.6 \times (1.55)^{0.4} = 3.81$$

Se documentó también el GSI usado en esta mina en base a las características del área de estudio refiriendo 3 zonas con el RMR, tiempo de autosoporte y abertura máxima de excavación sin sostenimiento resumido en el siguiente cuadro:

LITOLOGIA	INDICE GSI	RMR	Q	TIEMPO AUTOSOORTE
Zona mineralizada	F/B (Fracturada /Buena)	65-75	12-40	5 años
Calizas, Filitas	F/R (Fracturada /Regular)	55-65	5-12	1 año
	F/P (Fracturada /Pobre)	45-55	1-5	15 días
	MF/B (Muy fracturada /Buena)	55-65	5-12	1 año
Zona Alta y Baja	MF/R (Muy fracturada / Regular)	45-55	1-5	15 días
Zona Lidia	MF/P (Muy fracturada / Pobre)	35-45	0.4-1	2 días
	MF/MP (Muy fracturada /Muy pobre)	25-35	0.1-0.4	8 horas
	IF/P (Intensamente Fracturada /Pobre)	25.35	0.1-0.4	Menor a 8horas

**Tabla 4:** resumen que correlaciona el índice GSI, RMR, Q y tiempo de autosoporte

*Fuente: (PARDO, 2014, pág. 62)*

Estos ejemplos sirven de ayuda para poder dar a conocer la idea que se tiene sobre el trabajo realizado en la mina Aguas Perdidas. Cada labor tiene su particularidad, es preciso tener en consideración que un solo método para la valoración de un macizo rocoso y análisis no es necesario. De estos trabajos son necesarios tener al menos más parámetros

y más supuestos sobre el posible comportamiento del material y así plantear soluciones de sostenimiento, además también es imperativo reconocer que la labor del Geólogo geomecánico no debe verse reducida a unas fórmulas que contengan la intención por garantizar la seguridad y mejor explotación de las labores mineras, cada uno de estos casos han sido expuestos anteriormente como ideas mas no como únicos criterios. El Geólogo geomecánico deberá siempre tener el criterio para poder plantear soluciones a los distintos problemas que se presentan en campo y no tomar solo por tomar como únicos criterios al RMR, Q, GSI por ejemplo. Estos criterios involucran algunos de los parámetros en cuestión a la solución relevante ya que nos dan de alguna manera un sustento en el cual se basa la idea del mejor sostenimiento posible sin embargo no deben ser tomados como únicos.

## **7 Bases Teóricas**

### **7.1 Base Teórica sobre Geología**

#### **7.1.1 Formación de las rocas ígneas**

A partir de los minerales formadores de roca (cuarzo, feldespatos, feldespatoideos), las rocas y masas rocosas se forman por medio de tres procesos fundamentales: 1 ígneos; 2 sedimentarios, y 3 metamórficos. Las rocas ígneas se forman debido a la cristalización del material fundido de silicatos en la corteza, o bien, en la superficie terrestre, eyectados. A partir de una erupción volcánica esta roca fundida se conoce como magma y se forma en el interior de la corteza y en el manto superior por los mismos procesos que provocan el levantamiento de la corteza y la formación de cadenas montañosas. La roca fundida puede penetrar a regiones donde se están formando montañas y al enfriarse y cristalizarse, constituir su basamento de roca ígnea sólida. Este proceso forma genera la formación de grandes masas rocosas ígneas, de cientos o miles de kilómetros de longitud que siguen las líneas de las cadenas montañosas, sierras y cordilleras; sin embargo, alguna parte del magma puede permanecer en forma líquida y salir en forma de lava y también, por la fuerza explosiva del vapor, convertirse en polvo, el cual se asienta en capas y puede encontrarse a cientos de kilómetros del centro de erupción; el polvo más fino, en cambio, se transporta alrededor de la tierra y, finalmente, se deposita sobre el suelo ([De la Vega Ortega, 2002, pág. 55](#)).

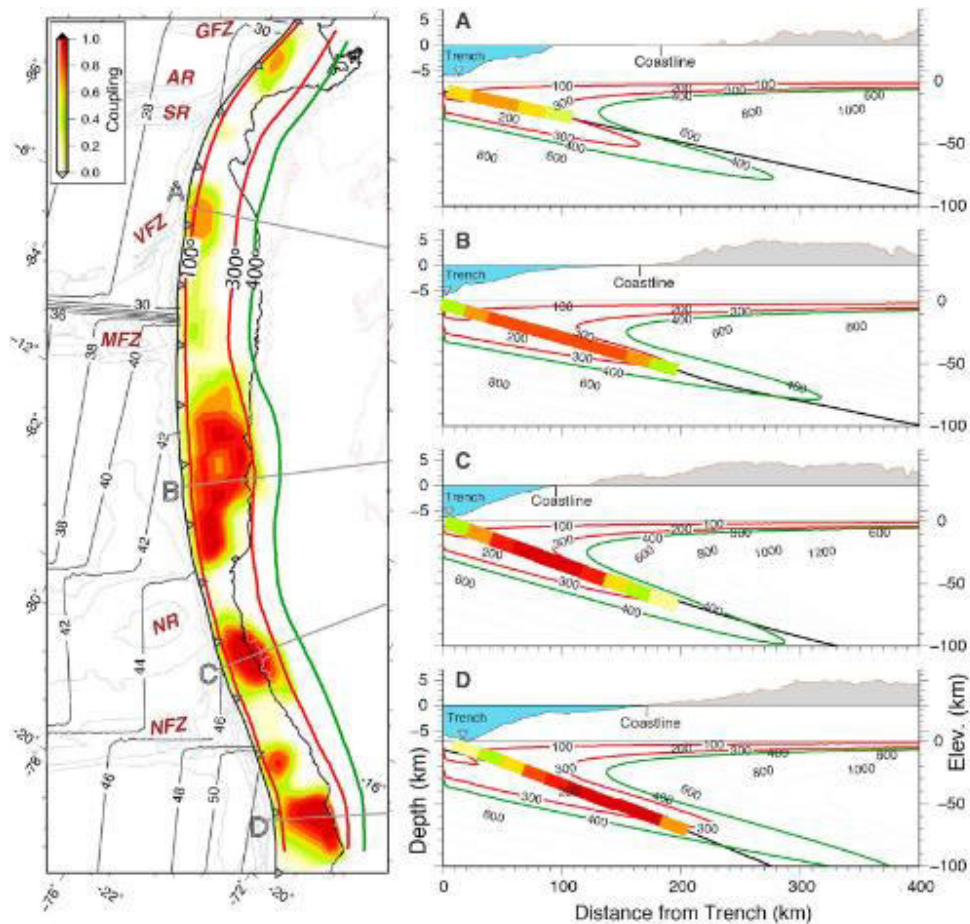
### **7.1.2 Formación de rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias se forman bajo el agua, en mares, en lagos, a partir de depósitos de arena y polvo transportados por los distintos agentes geológicos. Cuando se forman bajo el agua, estos sedimentos tienen cantidades variables de dos componentes: 1) detritus, producto de la erosión transportados al mar por los ríos, principalmente con cuarzo, mica, arcilla y fragmentos de roca, y 2) minerales precipitados a partir de soluciones de agua, primordialmente carbonatos de calcio y magnesio, sulfuros y óxidos e hidróxidos de hierro y sílice en forma de cuarzo, las rocas sedimentarias comunes incluyen capas de arcilla, lodo, arena y grava (De la Vega Ortega, 2002, pág. 55).

### **7.1.3 Formación de rocas metamórficas**

Las rocas metamórficas se forman a partir de las rocas ígneas o sedimentarias que han sido afectadas por calor y/o presión, pudiéndose llegar a verse sometidas a ulteriores procesos metamórficos; se tienen entonces el llamado proceso metamórfico dinámico cuando sólo la presión ha sido el agente metamórfico; en cambio, se logra el proceso metamórfico térmico cuando se produce por el calentamiento de la roca cercana a una intrusión ígnea que ha penetrado en rocas formadas con anterioridad (otros autores la denominan metamorfismo de contacto); el proceso metamórfico dinámico termal o regional toma forma cuando se origina por altas presiones, las altas temperaturas sobre la roca madre. Consecuentemente, se tiene una variedad de tipos de rocas dentro de estas tres clases fundamentales y, por supuesto, cada una tienen sus particulares propiedades químicas, mecánicas y eléctricas. (De la Vega Ortega, 2002, pág. 56).





**Imagen 3:** mapas termales con los cuales se observa el comportamiento de las placas de Nazca y Sudamericana. Se observan también la topografía al lado derecho a partir de las mediciones termales. Fuente: (Villegas Lanza, y otros, 2016).

Los yacimientos hidrotermales se clasifican según su temperatura de formación (que suele estar entre los 100 a 400°C). Las mineralizaciones hidrotermales están constituidas fundamentalmente por cuarzo y/o carbonatos diversos, entre los que cabe destacar calcita, dolomita, y siderita, minerales que suelen constituir la ganga o parte no explotable en los yacimientos de interés minero. Entre los minerales de mena pueden estar presentes en este tipo de rocas, podemos mencionar a: la pirita, la calcopirita, la esfalerita, galena, cobres grises, argentita, platas rojas, cinabrio y el oro nativo.

Existen otras manifestaciones tales como los stockwork y diseminados, ambas pueden verse en depósitos de tipo cuprífero, por ejemplo. De forma irregular sin un patrón específico conocido, en ocasiones éstos se dan por fenómenos de reemplazamiento (Colombia, 2013).

### ***7.1.5 Emplazamiento de flujos volcánicos y plutones en la corteza terrestre vinculados a la formación de yacimientos minerales.***

Para comenzar a hablar sobre esta parte hay que saber que se tiene dos tipos principales de rocas ígneas, extrusivas e intrusivas. El primer grupo incluye aquellas rocas ígneas que llegan a la superficie como fundido o parcialmente fundido. En el contexto de los volcanes estos eyectan material a manera de flujo a través de su chimenea principal o a través de discontinuidades y/o cavidades que pertenecen al mismo aparato volcánico que se conocen como chimeneas secundarias, este material fluye de manera que pierden temperatura de manera brusca y mientras esto ocurre se cristaliza o solidifica de manera muy rápida dando el nacimiento a cristales muy pequeños o vidrio volcánico conocido como obsidiana.

En cuanto a las rocas intrusivas o plutónicas estas son el resultado de un proceso de cristalización magmática que no se desarrolla en superficie. Las intrusiones magmáticas son discordantes en cuanto a las rocas circundantes y tienen varias denominaciones; se les puede denominar, stocks magmáticos, lopolitos, lacolitos, facolitos y batolitos; pues según su tamaño y forma también se pueden llamar base en cuanto estas intrusiones tengan una disposición tabular o concordante a las rocas adyacentes. Cuando el magma se solidifica a gran profundidad éste se enfría muy lentamente y tiene un largo periodo de tiempo en el cual haya podido cristalizar y llegar a su solidificación total. En estas condiciones antes mencionadas se da un tipo de cristalización que tienen como producto cristales de mayor tamaño dando origen a una textura de tipo granular, en cambio cuando las condiciones de enfriamiento son de alguna manera más rápidas dan origen a otro tipo de texturas con un tamaño de grano más intermedio a pequeño asociados a fuente de tipo volcánica. (Klein, Cornelius, & Hulburt, 1997, pág. 621).

## ***7.2 Base Teórica sobre propiedades mecánicas de las rocas***

### ***7.2.1 Porosidad***

Esta es una propiedad índice de la roca. Esta es la relación existente entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total del material,  $V_v$ , y el volumen total  $V$  (partículas sólidas + vacíos):  $n (\%) = V_v/V$ . Es relevante resaltar que esta propiedad afecta a las características de resistencia de la roca, siendo inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad, a su vez directamente proporcional a la deformabilidad, ya que la existencia de estos vacíos produce una debilidad intrínseca del material en cuestión. Los espacios vacíos en rocas ígneas y metamórficas se pueden dar por micro fisuras o grietas

de la propia matriz rocosa. La porosidad decrece conforme aumenta el soterramiento y mayor edad de la roca.

El valor de  $n$  puede variar entre 0% y el 90%, con los valores normales entre 20% y 30%. (González de Vallejo, 2002, pág. 128).

### 7.2.2 *Peso Específico o peso unitario*

Se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico,  $\gamma$ , y para la densidad,  $\rho$  ( $\rho$  = masa/volumen), por lo que en ocasiones en la bibliografía geotécnica se emplea el término “densidad” por lo que habrá que tener cuidado con esta mención ya que muchas veces esta refiere también al peso específico. Cuando trabajamos con el peso específico y sea posible verse el término de densidad es preciso aclarar que se trabaja tal como sería lo siguiente:  $\gamma = \rho \cdot g = 1 \text{ g}_{\text{masa}}/\text{cm}^3 \cdot 980 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ dinas/cm}^3 = 1 \text{ g}_{\text{fuerza}}/\text{cm}^3$  ó  $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9.800 \text{ N/m}^3 = 1.000 \text{ kp/m}^3$ ).

Las rocas en comparación con los suelos presentan una alta variación en cuanto al peso específico (González de Vallejo, 2002, pág. 128).

### 7.2.3 *Densidad*

La densidad de masa ( $\rho$ ), o simplemente densidad, se define como la masa ( $m$ ) de un sistema dividida por el volumen del mismo ( $V$ ) a una temperatura y presión determinadas; es decir:

$$\rho = m/V$$

cuyas unidades pueden ser:  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ . (Fuentes Arderiu, Castiñeiras Lacambra, & Queraltó Compañó, 1997).

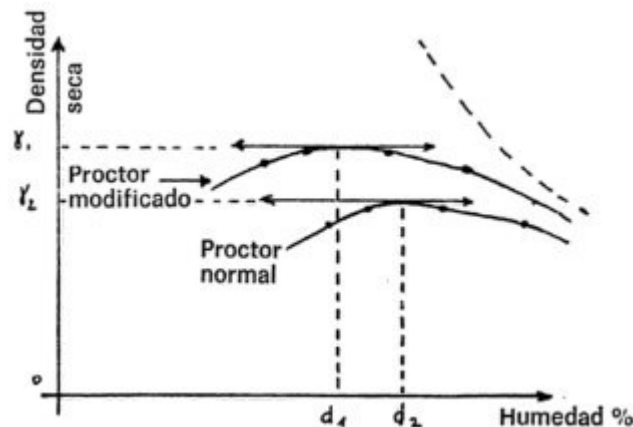
### 7.2.4 *Densidad seca*

Se define a la densidad seca del material, como la relación entre la masa de las partículas sólidas y el volumen total del suelo. Dado que la humedad del suelo puede ser variable, considerar la densidad seca puede servir para establecer un criterio comparativo entre suelos más o menos compactos con referencia a un valor determinado de densidad máxima (Frankie, 2012).

Una manera con la cual es posible obtenerse la densidad seca es realizando un ensayo de Proctor (en honor a su creador Ralph R. Proctor, 1933). A continuación, se muestra una



imagen donde es posible verse resultados de una prueba de Proctor relacionado a la densidad seca.



**Imagen 4:** se observa un gráfico donde se muestran curvas Humedad vs Densidad después realizada la prueba de Proctor Fuente: [\(Reunión de ingenieros, 1975\)](#).

Aquí independientemente de la humedad óptima, las curvas del Proctor es posible deducir algunos puntos a tratar.

Si la curva tiene poca inflexión después de alcanzar su densidad seca, esto quiere decir que el suelo es poco deformable en función a la humedad. Por lo tanto, al momento de ser compactado este será estable. En cambio, si esta inflexión es perceptible en gran manera se puede deducir que es un material que sufre gran deformabilidad por lo que es más difícil de compactar y tendrá mayor variabilidad en función de la humedad relativa.

### 7.2.5 Densidad Húmeda

Es la densidad natural, con la humedad natural que tienen en ese momento, o aparente. Suele tener valores de  $2 \text{ t/m}^3$  que se denota mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_h = \frac{P_s + P_w}{V_T}$$

Donde:

$\gamma_h$ : densidad húmeda;  $P_s$ : peso de la muestra;  $P_w$ : peso del agua y  $V_T$ : volumen total de la muestra [\(González Caballero, 2001\)](#).



### 7.2.6 Permeabilidad

Es la capacidad de transmisión de agua un material. Las rocas por lo general presentan permeabilidades bajas. La filtración y fluencia del agua a través de la matriz rocosa se da a través de porosidad primaria o secundaria dependiendo cuál de ellas posea, la comunicación entre dichas cavidades y otros factores como el grado de meteorización, la anisotropía del material, o el estado tensional al que está sometido el material. La permeabilidad de una roca se mide por el coeficiente o conductividad hidráulica,  $k$ , que se expresa en m/s, cm/s o m/día, así vemos:

$$k = K(\gamma_w/\mu)$$

Donde  $K$  es la permeabilidad intrínseca del material (depende únicamente del medio físico),  $\gamma_w$ , es el peso específico del agua y  $\mu$  es la viscosidad del agua. (González de Vallejo, 2002).

### 7.2.7 Absorción

Es la capacidad que tienen un material a expandirse como respuesta a la introducción del agua en su estructura natural (Badillo & Rodríguez, 2004).

### 7.2.8 Peso específico aparente

Es una característica que refiere a la relación existente entre el peso de un suelo seco en un determinado volumen en un horno a 110° durante 24h, incluido el espacio poroso, dividido entre el peso de un volumen igual al que ocuparía el agua en ese espacio. Se expresa en g/cm<sup>3</sup>. Entonces mientras mayor sea su peso específico aparente, menor es el espacio poroso que este posee. Esta es una propiedad básica para poder saber la capacidad de retención de agua que posee el suelo (Valverde, 1998).

### 7.2.9 Carga de Rotura

Es la carga máxima a la cual puede llegar el material en el momento en el cual se produce la rotura. También se conoce como carga límite o razón de carga- rotura en una respectiva área. Así se tiene:

$$q_{ult} = \frac{Q_{ult}}{BL} \quad \text{donde } Q_{ult}: \text{carga de apoyo} \quad B: \text{ancho del cuerpo de fundación}$$

L: largo del cuerpo fundación\* (de Matos Fernandes, 2011)

(\*): entiéndase como cuerpo de fundación a aquel cuerpo que somete al material en cuestión a una carga tal que produce la deformación en el suelo o roca.

#### **7.2.10 Resistencia a la compresión Uniaxial**

Es la resistencia de un material a ser deformado y posteriormente roto en un lapso de tiempo determinado. En este ensayo se dirige una carga en dirección vertical hacia una probeta o briqueta prueba. Permite una importante curva esfuerzo-deformación y deducir de ella los módulos de elasticidad estáticos de Young (E) y Poisson (v). En otras palabras, esta propiedad nos ayuda a observar el comportamiento de los materiales tanto pueden ser suelos o pétreos bajo esfuerzos mecánicos en diferentes tiempos (Oviedo, 1999, pág. 248).

También se conoce como resistencia a la compresión simple es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometido a la compresión en una dirección, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, y viene dada por:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

Donde:  $\sigma_c$ : esfuerzo de compresión aplicado;

$F_c$ : fuerza compresiva aplicada

A: área de aplicación

(González de Vallejo, 2002).

#### **7.2.11 Módulo de Young (E)**

Es una constante de proporcionalidad que también se conoce como módulo de elasticidad. Esta constante es posible medirse mientras el material mantenga un comportamiento elástico. De aquí se puede ver la relación entre el esfuerzo aplicado a la muestra en el eje vertical y la deformación axial en la muestra ensayada. El módulo de Young se describe mediante la siguiente relación:

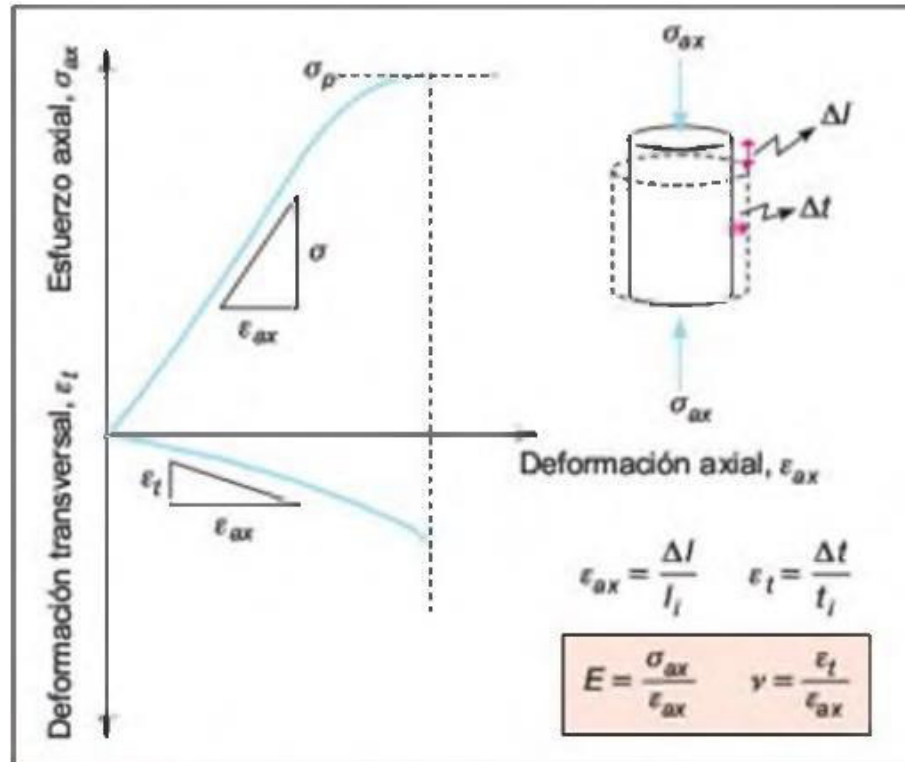
$$E = \sigma / \varepsilon_{ax}$$

Donde:

E: módulo de elasticidad.

$\sigma$ : esfuerzo aplicado.

$\varepsilon_{ax}$ : dirección según la fuerza es aplicada. Se conoce como deformación axial.



**Imagen 5:** se observa las proporciones usadas para calcular el módulo de elasticidad  $E$

Fuente: (González de Vallejo, 2002, pág. 153).

#### 7.2.12 Módulo de Poisson ( $\nu$ ):

Este es otro módulo de elasticidad que es posible medirse también mientras el material presenta un comportamiento elástico. El módulo se halla a partir de la deformación transversal  $\epsilon_t$  dividida entre la deformación axial  $\epsilon_{ax}$  dando como resultado la siguiente relación:

$$\nu = \epsilon_t / \epsilon_{ax}$$

donde:

$\nu$ : módulo de elasticidad de Poisson.

$\epsilon_t$ : deformación transversal (perpendicular al esfuerzo principal).

$\epsilon_{ax}$ : deformación axial (en la misma dirección del esfuerzo principal).

Fuente: (González de Vallejo, 2002).

### **7.2.13 Martillo de Schmidt (Instrumentación Geotécnica)**

Instrumento que sirve para poder estimar de forma indirecta la resistencia a compresión simple, siendo aplicable a la matriz rocosa, aunque también sirve para medir en discontinuidades. Su uso es muy extendido por su facilidad de manejo la rapidez de la obtención de datos.

Es un esclerómetro cuya forma es cilíndrica que dispone de un amortiguador interno con una punta retráctil, la cual, al ser presionada contra la roca éste se dispara.

Para realizar el ensayo se comienza por limpiar la zona en la cual se realizará la medición. Esta zona debe estar libre de fisuras o grietas eliminando también cualquier pátina o superficie de meteorización. Después de aplica el martillo, presionando hasta que salta el muelle; el aparato debe colocarse perpendicular al plano del ensayo. En función de la dureza o resistencia de la roca, el muelle sufre menor o mayor rebote, valor que queda reflejado en una pantalla que se encuentra en el mismo aparato. Deben realizarse en cada punto de medida 10 percusiones con el martillo, eliminando los valores más bajos y tomando el valor promedio de los restantes.

Los valores de rebote obtenidos se pasan a plotear en un formato teniendo en cuenta la densidad de la roca, inclinación respecto al plano donde se realiza el ensayo([González de Vallejo, 2002](#)).



**Fotografía 2:** se observa la manera cómo se realiza el ensayo de resistencia a la compresión simple con el Martillo de Schmidt. Fuente: ([González de Vallejo, 2002](#)).

## **Glosario de Términos**

Anisotropía. - Término que refiere al distinto comportamiento interno de un material que es sometido a esfuerzos.

Bóveda. - parte superior de una labor minera.

Buzamiento. - Máximo ángulo tomado en la vertical tomado de manera perpendicular a la orientación de la estructura medida.

Carga litostática. – Es todo el peso del suelo o roca suprayacente sobre una formación de roca.

Comportamiento elástico. – Propiedad que tienen ciertos cuerpos sometidos a esfuerzos, una vez finalizado el estado tensional al que se somete puede volver a su estado original.

Contrapiso. - parte intermedia entre el terreno natural y una solera.

Factor de goteo. – Término que refiere a la longitud de un acuífero semiconfinado.

Factor de seguridad. - Es una relación dada entre los esfuerzos que provocan el movimiento de un cuerpo con respecto a los esfuerzos que logran que este mismo cuerpo se mantenga estático.

Gunitado. - Hormigón proyectado, también conocido como shotcrete.

Hastiales- partes laterales de una labor minera

Método de elementos finitos. – Método usado en ingeniería para realizar cálculos aproximados a una situación de la vida real.

Minado mixto. – Tipo de minado en el cual se pasa de un determinado método de minado usado a uno nuevo para maximizar ganancias y minimizar costos durante las labores de explotación de minas.

Roca pizarra. – Tipo de roca metamórfica compuesta por material de grano fino y que ha sido expuesta a modificaciones mineralógicas y composicionales de bajo grado.

Tensión. – Esfuerzo dirigido al cuerpo sometido. Esfuerzo compresivo.

Tracción. – Tipo de esfuerzo en dirección contraria al cuerpo expuesto. Esfuerzo distensivo.

Orientación de estructura. - Refiere a la dirección respecto al norte magnético en el plano horizontal.

## ***8 Hipótesis general***

La determinación de parámetros geomecánicos y su uso aplicado a las propiedades físicas y mecánicas de la roca será necesario para poder aportar en la determinación del método de sostenimiento adecuado con el cual se podrá realizar un minado seguro en la mina Aguas Perdidas.

## ***9 Hipótesis específica***

El uso de parámetros geomecánicos influirá de manera satisfactoria al recomendar el método de sostenimiento adecuado para un minado seguro en la mina Aguas Perdidas.

## ***10 Identificación de Variables***

La identificación de estas variables se ha realizado después de la observación, estudio y análisis del proyecto en cuestión para poder separar cuáles son las variables en la pérdida de estabilidad de las labores en el interior de la mina Aguas Perdidas entre aquellas que son independientes y dependientes.

- Variables Independientes: Parámetros Geomecánicos de la mina Aguas Perdidas.
- Variables Dependientes: Método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas.

### III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

## **11 Tecnología y Métodos**

### ***11.1 Metodología***

#### ***11.1.1 Planteamiento de la Investigación***

La investigación tratada en este trabajo se desarrolla en el contexto del ámbito minero, para ser más puntuales en labores mineras. Estas se desarrollan al aire libre y socavones. Estas deberán realizarse de la manera más segura posible para así poder garantizar el óptimo desempeño de los trabajadores y que la producción se lleve a cabo de manera normal.

Las características del macizo rocoso se presentan como parte del contexto natural en el cual se desarrolla el siguiente trabajo de investigación, algunas características de estos macizos a ser estudiadas tales como las propiedades índice y otras propiedades mecánicas han de ser tratadas en el laboratorio para poder complementar el trabajo realizado en campo y ver la mejor metodología para recomendar un tipo de sostenimiento que sea adecuado a su vez para optimizar la producción de las minas tratadas.

#### ***11.1.2 Compilación de la Información***

Para la reunión de toda la información requerida se necesitó lo siguiente:

- Datos e información de fuentes relacionadas con el trabajo realizado, ya sean mediante registros escritos tales como revistas, informes, tesis, servidores web y suministro de información por vía oral a través de colegas experimentados en el tema y pobladores de la zona estudiada.
- Toma de datos en campo tales como son los datos de discontinuidades, orientación de las labores observadas, visualización de los frentes de trabajo y observación de las mismas muestras donde se trabajaron las estaciones geomecánicas.
- Por último, los datos suministrados a partir de los ensayos de laboratorio de Geomecánica Latina S.A sirven para poder complementar la observación y dar soporte a los datos tomados en campo. Se apoyó estos ensayos con el estudio de secciones delgadas de muestras representativas para poder analizar de manera más completa las rocas sobre las cuales se desarrolla la explotación minera en la mina Aguas Perdidas.



Habrá que resaltar que toda la información expuesta pertenece a la consultora GCI la cual se prest  sus datos bajos los requerimientos estrictos de confidencialidad de la empresa.

#### ***11.1.3 Cartografiado y muestreo***

El trabajo constó básicamente en el recorrido del área cercana a las labores mineras teniendo una base topográfica a una escala 1:5000 para superficie y 1:1500 para interior mina, luego el trabajo principal consistió en realizar un cartografiado en los socavones donde se registró los distintos tipos de rocas encontrada en las labores, siendo estas codificadas mediante un rótulo M-X.

Para el registro de las rocas se obtuvieron muestras con forma aproximada a paralelepípedos con dimensiones de 35-40cm de largo y 30-40 cm de espesor con otros 30cm de ancho para definir los bloques destinados a usarse como testigos para las pruebas de laboratorio. Como muestras para la caracterización del macizo rocoso se han tomado dos muestras de rocas que constituyen de manera representativa la mayor cantidad de roca encontrada en la mina Aguas Perdidas. El martillo de Schmidt es puesto en este apartado gracias a que se pudo obtener datos sobre resistencia a la compresión simple de manera aproximada lo que da mayor base a la toma de datos en campo y deducciones posteriores.

#### ***11.1.4 Proceso experimental***

Las muestras sacadas en campo fueron enviadas al laboratorio Geomecánica Latina S.A en donde se les realizó ensayos para poder determinar sus propiedades físicas, ensayos de compresión uniaxial para determinar la resistencia a la compresión simple y por último ensayos de compresión triaxial para determinar la resistencia de la roca traducida en este ensayo en términos de  $c$  (cohesión) y  $\phi$  ( ngulo de fricción interna). Para la roca es preciso aclarar que se usa en ángulo de fricción interna ya que la cohesión es usada para los suelos. Dos muestras más fueron enviadas al taller donde se realizan secciones delgadas y así poder observarlas al microscopio de luz transmitida para ver la composición de las muestras y así complementar el estudio.

#### ***11.1.5 Modelamiento Geomecánico***

El modelamiento se realizó usando los parámetros mencionados anteriormente usándose un método probabilístico en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Se contempla también el modelamiento geomecánico en el contexto de los esfuerzos a los que se ve sometida la roca en las labores mineras durante los trabajos de excavación.

Una parte importante durante la realización del trabajo de modelamiento es la visualización de discontinuidades vista en campo en un modelo virtual que se ve expresado en estereogramas equiareales de Schmidt con lo cual a su vez es sustentado por otro software de modelamiento que permite ver la ocurrencia de bloques en cuña y potenciales zonas inestables en las labores. Para el lector del presente trabajo, se expone de manera resumida que los softwares usados han sido Phase<sup>2</sup>, Undwedge, Dips y Slide de la firma Rocscience.

Cada uno de estos *softwares* especializados para realizar cálculos de esfuerzos en roca de labores subterráneas, observación de cuñas en las labores subterráneas, gráfica de planos de discontinuidades y estabilidad de taludes en este caso para las bocaminas respectivamente en el orden secuencial de acuerdo a los softwares citados anteriormente.

#### ***11.1.6 Procesamiento de la información e interpretación***

El procesamiento de la información se realizó con ayuda de las herramientas básicas para estos trabajos tales como son las tablas de registros geomecánicos, descripciones de campo, formatos de Excel donde se pueda compilar toda esta información y pueda darse de manera gráfica al lector del trabajo y a partir de los valores obtenidos durante este proceso poder realizar modelamientos complementarios que apoyen las suposiciones del autor.

La interpretación final se da como la interrelación de los distintos valores obtenidos de los distintos mapas teniendo en cuenta siempre el contexto geológico, tipo de tectónica, sísmica de la zona, valores deducibles a partir de las discontinuidades, ensayos tomados en campo y datos arrojados de los datos de laboratorio entregando un producto final que se ve expresado en una serie de conclusiones finales.

## IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO - MINA AGUAS PERDIDAS

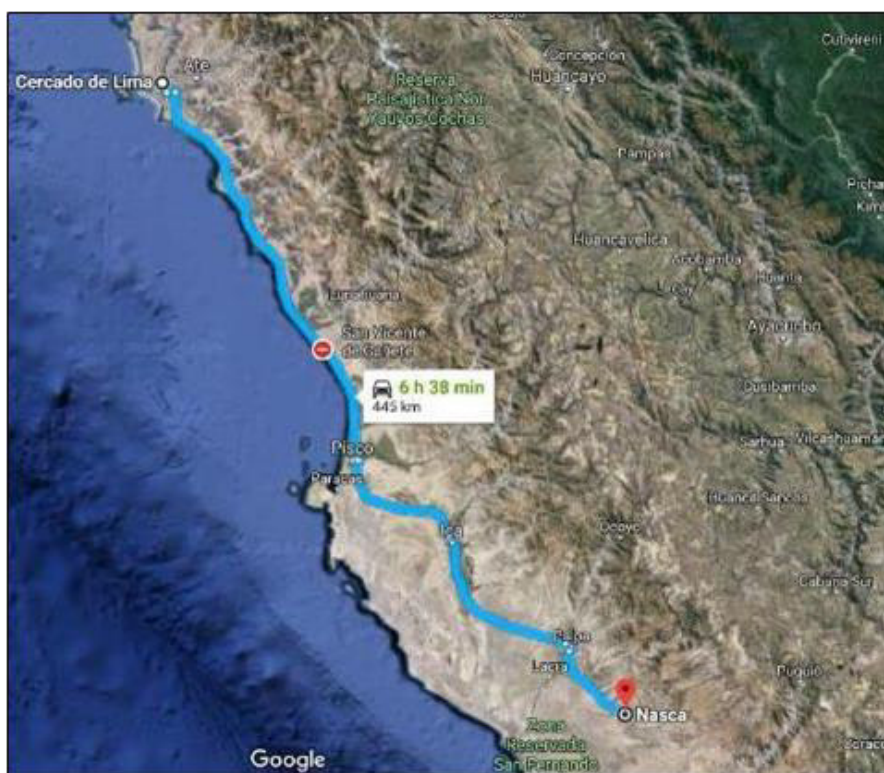
## CAPÍTULO IV

### 12 MINA AGUAS PERDIDAS

#### 12.1 Ubicación de la mina Aguas Perdidas

El Mina Aguas Perdidas, se encuentra ubicado en el distrito de Ocoña de la provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, en el Nor-este de la ciudad de Nazca localizado con coordenadas UTM en el sistema WGS84; N 8391486.51, E 507342.68., con altitudes promedio entre los 1850 - 1880 m.s.n.m. Véase en los anexos el plano **(P-01)**.

El acceso desde la ciudad de Lima a la Mina Aguas Perdidas se realiza a través de la ruta principal siguiendo la Carretera Panamericana Sur: Lima –Pisco– Ica en un lapso de tiempo aproximado de 7 horas de recorrido. Para el trayecto Nazca – Mina Aguas Perdidas el tiempo promedio de viaje en la ruta indicada varía aproximadamente entre 1.30 a 2 horas de Nazca- Mina Aguas Perdidas por camino afirmado. Dependiendo mucho de las condiciones climáticas y el tráfico en la ruta indicada puede extenderse a las 2.30 horas de trayecto. Véase en los anexos **(P-02)**.



**Imagen 6:** Ruta comprendida desde Lima a Nazca. *Fuente: (Google Maps, marzo 2018)*

## ***12.2 Clima y Vegetación***

### ***12.2.1 Precipitación e Hidrografía***

La cuenca hidrográfica del río Otocha alberga al sistema al que pertenecen los ríos de la región. Este sistema hidrográfico se caracteriza por un drenaje de tipo proximal en la cual las quebradas con sentido transversal a la orientación andina son perpendiculares a la línea costera, tienen una forma común en “V” describiendo el tipo de erosión típico de un río.

Este sistema hidrográfico se alimenta principalmente por las precipitaciones que se dan en su parte alta, al no poseer precipitación más o menos constantes durante el curso su régimen se manifiesta intermitente.

### ***12.2.2 Clima***

El clima que presenta la zona de estudio es de tipo cálido seco durante todo el año, con una temperatura anual comprendida entre los 20 a 23°C. En la estación de verano puede superar los 30 °C (de enero a marzo), debido a su disposición geomorfológica de la intersección de dos cerros se observa neblinas las cuales se precipitan y creando un clima local.



***Fotografía 3:*** se muestra una vista panorámica de la zona donde se ubica la mina Aguas Perdidas, clima cálido Seco. (*Fuente: del autor*)

### ***12.2.3 Vegetación***

Como vegetación propia del lugar se han observado árboles de huarangos y algarrobos; las condiciones para la agricultura no son las más propicias así que no se apreció grandes rasgos en términos de plantaciones.



**Fotografía 4:** Vegetación compuesta de huarangos, molles y matorrales alrededor de la Mina Aguas Perdidas. (Fuente: del autor)

### ***12.3 Geología de la mina Aguas Perdidas***

#### ***12.3.1 Geología Regional asociada a la mina Aguas Perdidas***

La zona está definida por unidades geológicas mesozoicas, se encuentran comprendidas entre el Bajociano, Caloviano y el Albiano medio cuyas formaciones representativas son la Fm. Monte Grande, Grupo Yura, Guaneros, Formación Copara y Portachuelo respectivamente; de todas estas, las cuatro primeras son predominantemente series volcánico clásticas en el sector occidental del área, dando a reconocer típicas facies de plataforma esencialmente que se encuentran en la zona oriental, donde el Gpo. Yura constituye en gran parte su equivalente cronoestratigráfico.

El control estructural de las unidades cenozoicas se ha desarrollado en dos ámbitos paleogeográficos: el primero correspondiente a la zona de la Costa, donde se produce una sedimentación marina en la Cuenca Pisco.

El segundo en un ambiente netamente continental, caracterizado por una actividad magmática intensa dando el nacimiento la región andina y a las secuencias volcánico-clásticas de las Formaciones: Castrovirreyna, Puquio, Grupo Barroso, y Grupo Nazca por mencionar algunas unidades.

Las rocas ígneas intrusivas aflorantes en el área de estudio, presentan composiciones que varían desde granodioritas hasta granitos y fueron emplazadas en periodos muy marcados; el primero, correspondiente al intrusivo del Batolito de San Nicolás, que se extiende por el borde litoral cuya edad Paleozoica inferior; y el segundo pertenece al

Batolito de la Costa, que se emplaza durante el Cretácico y se desarrolla más en un contexto de orogenia andina.

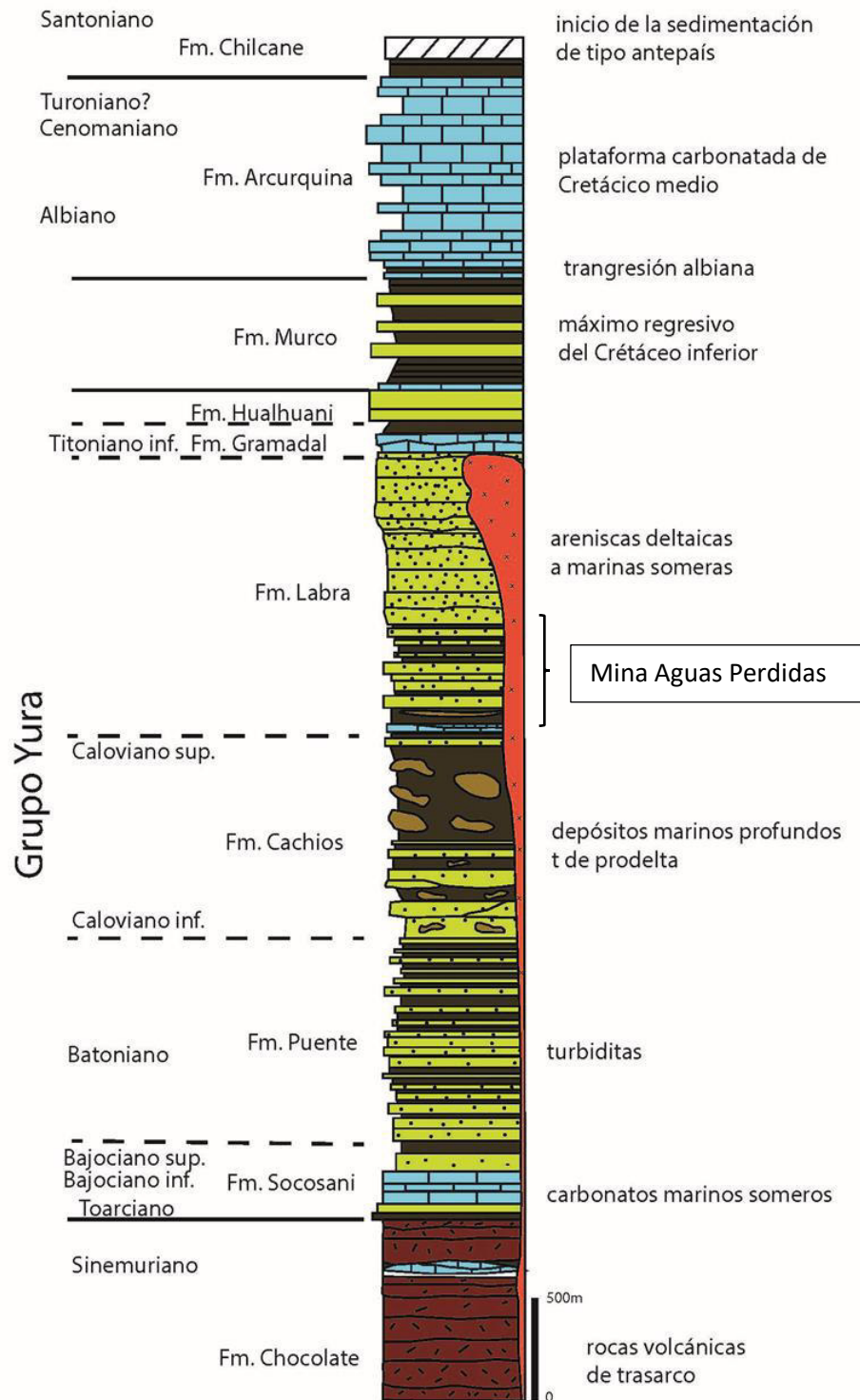
La franja metalogénica asociada a estos depósitos minerales perteneces a la faja cuprífera ubicada al sur de la vertiente del Pacífico llegando hasta la zona occidental-sur de los Andes. La pequeña minería es la que más se desarrolla en esta región, se entiende que mucha de la explotación en estas áreas pertenece a zonas de enriquecimiento supérgeno. Los filones presentan orientaciones afines a la Cordillera Occidental, con desviaciones más o menos “moderadas” y espesores de un metro.

La mineralización en esta región está relacionada genéticamente con las intrusiones del Batolito de la Costa y tiene como roca caja a unidades de tipo volcánico clásticas. (Montoya, García , & Caldas, 1994).

Se ha observado como fases de alteración tales como silicificación moderada a pervasiva encontrándose asociada cuarzo, oligisto, especularita, pirita, calcopirita y calcita, así como los minerales típicos de zonas de enriquecimiento supérgeno como: covelina, malaquita, hematita y limonita

Las minas presentan menas de cobre y oro. Puede encontrarse como subproducto menas de plata, plomo y zinc.

## Columna Estratigráfica del Grupo Yura



**Imagen 7:** muestra el nivel en donde se encuentra la mina Aguas Perdidas dentro de la columna estratigráfica del Grupo Yura y centrado en la Fm. Labras.



### ***12.3.2 Geología local de la Mina Aguas Perdidas***

En la zona de estudio se han observado gran cantidad de depósitos coluviales como productos de la meteorización de la litología local. Se han observado afloramientos de arenisca cuarzosa en superficie aledaña a la zona donde se ejecutan las labores mineras. Según [Perales Calderon \(1994\)](#) esta litología correspondería a la Fm. Labra, estudiado en el cuadrángulo de Cailloma por [Dávila D. \(1988\)](#). Esta formación geológica corresponde al Grupo Yura; la formación Labra se compone básicamente de litologías tales como areniscas, areniscas cuarzosas, lutitas y limolitas.



***Fotografía 5:*** *el material coluvial de superficie muestra colores amarillos y rojos amarillentos, típicos de litologías como areniscas, limolitas y lutitas alteradas. (Fuente: del autor)*

### ***12.3.3 Geomorfología***

En la zona de estudio han sido posible distinguirse de oeste a este las siguientes unidades geomorfológicas: Cordillera de la Costa, Pampas Costaneras, Estribaciones Andinas y Altiplanicies en ciertos sectores.

Principalmente se observa que el área correspondiente a la zona de la mina está ubicada en el rasgo morfo estructural de Estribación Andina, presentando u sistema de colinas, sistema de drenes y terrazas fluvio aluviales ([Montoya, García , & Caldas, 1994](#)).

### ***12.3.3.1 Pampa Costanera Aluvial***

Unidad Morfológica Menor, está representado por la estructura estratigráfica de las terrazas aluviales, correspondiente a los antiguos conos de deyección de los ríos que llegaron hasta el Océano Pacífico; Así mismo, a los abanicos aluviales que complementan la morfología de las pampas costaneras, éstas se encuentran ligeramente inclinadas hacia el suroeste. Las zonas materia de estudio, desde el sector de Cañete hasta el Valle del Rio Pisco, forma parte de esta Unidad Morfológica Menor, donde la superficie topográfica del suelo en superficie es relativamente plana, se encuentra estable, no presenta depósitos coluviales, no bofedales, ni áreas inestables, etc. La continuidad de la pampa costanera se proyecta hacia el sureste, en el sector la morfología del terreno, pero se incrementa su pendiente hasta 18°.recoerriendo por la carretera Libertadores Huari hasta el Km. 40+000 aproximadamente se tiene su inicio la Unidad Morfológica Cerros Interandinos.

### ***12.3.3.2 Cerros Interandinos***

Las características geológicas de esta unidad morfológica menor, su proximidad al litoral y su distribución confinando formaciones marinas del Terciario, permite suponer que esta unidad constituye relictos de una antigua superficie de erosión marina. Las zonas de estudio se encuentran emplazado sobre la superficie de esta unidad morfológica, su inicio fue cartografiado en la ciudad de Cañete, su continuidad se orienta hacia el sureste, en dirección de la cadena de cerros que constituye las estribaciones andinas. En el sector se cartografió afloramiento de la masa rocosa volcánica andesita, la roca en la margen derecha de la carretera panamericana, se encuentra moderadamente meteorizado a meteorizado, rugoso, moderadamente fracturado, relleno de cuarzo, muy diaclasado, de color gris. Así mismo, la roca andesita se encuentra meteorizado a muy meteorizado, moderadamente oxidado, debido a la infiltración de agua de lluvia por las fracturas y diaclasas, moderadamente fracturado, relleno de cuarzo, muy diaclasado, de color gris rojizo.

En estos sectores fue identificado zonas donde se apreciaron caída de fragmentos de roca suelta, en poca cantidad, en dirección de la carretera hacia libertadores huari. Se sugiere retirar estos fragmentos de roca suelta localizados en ambos márgenes del talud del cerro, a fin de atenuar daños de vehículos, personas, animales, etc., que circulan por este sector. La extensión de la carretera continúa hacia el sureste, en forma concordante a las laderas de poca pendiente, de los cerros y quebradas que interceptan la carretera panamericana sur.



**Fotografía 6:** vista panorámica de la morfología en la zona de la mina Aguas Perdidas.  
(Fuente: del autor)

#### **12.3.4 Litoestratigrafía**

El basamento sobre el cual yace el sistema mineralizado se encuentra dentro del Grupo Yura el cual comprende facies sedimentarias compuestas principalmente por una secuencia estratigráfica de cuarcitas, areniscas y arcillitas que tienen un intervalo en el tiempo geológico desde el Jurásico Superior al Cretácico Inferior con algunas facies calcáreas pertenecientes mayormente a las más reciente del Eoceno. **Anexo 04 (P-04).**



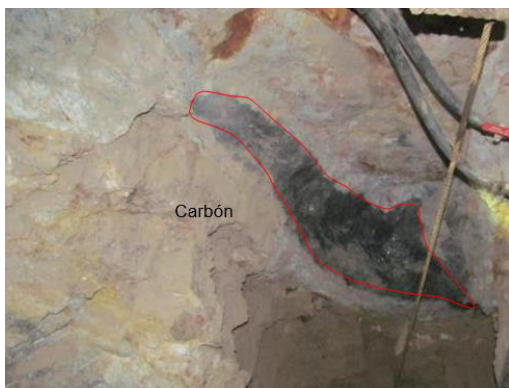
**Fotografía 7:** se puede observar claros ejemplos de formación de cuñas tetraédricas.  
(Fuente: del autor)

La estructura principal de estratificación tiene una orientación de 130/40 NE como se observa en la siguiente fotografía:



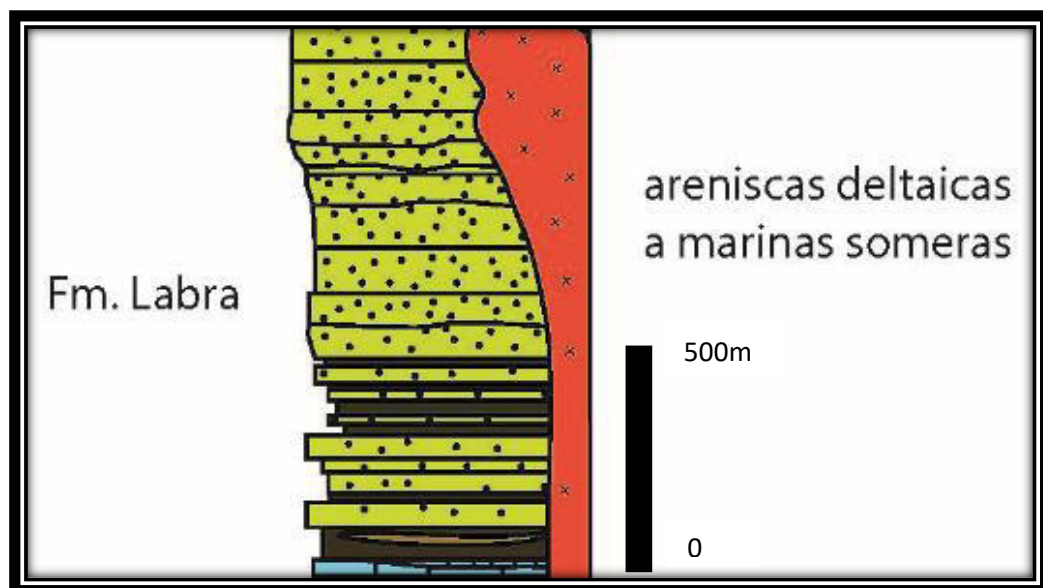
**Fotografía 8:** orientación de las estratificaciones y la excavación de la labor minera. (Fuente: del autor)

En la secuencia estratigráfica compuesto de areniscas se observa lentes de carbón, lo cual indica zonas tidales (Playas), el tipo de grano son semi redondeadas como se observa en la siguiente fotografía:



**Fotografía 9:** Lentes de carbón en la arenisca localizado en Pique Charapa. (Fuente: del autor)

#### 12.3.4.1 Columna Estratigráfica local del Grupo Yura



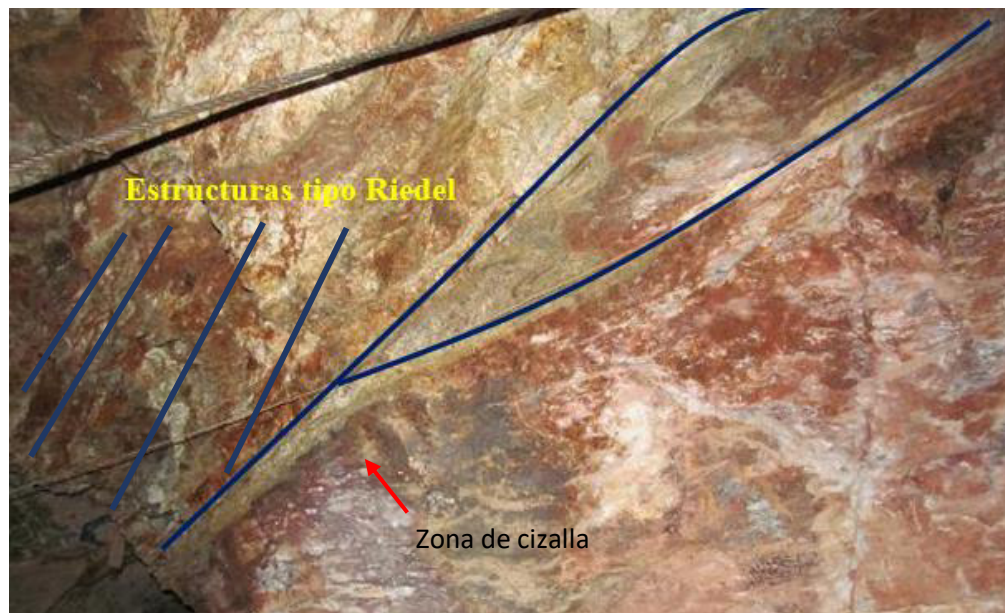
**Imagen 8:** columna estratigráfica local. Fm Labra- Grupo Yura. (Fuente: del autor)



### 12.3.5 Geología Estructural

La manifestación de las estructuras en la mina Aguas Perdidas son producto de las numerosas fases tectónicas que han ocurrido en el intervalo Precámbrico - Cuaternario; estas estructuras son propias de la Cordillera de la Costa (Tectónicas Precambrianas y Caledónica). Mientras tanto tenemos a la Tectónica Andina, que afecta a las facies mesozoicas y cenozoica respectivamente; en consecuencia, puede que se observe estructuras tales como pliegues y fallas. El levantamiento de la secuencia andina y configuración actual del área de estudio.

Los Esfuerzos Tectónicos generados en la zona están marcados por evidencias de compresión más que de tracción, se ha encontrado rellenos de micro fallas con panizo, estrías de falla y relleno fino. Las fallas presentes en la mina se encuentran orientadas siguiendo el plano de estratificación.



**Fotografía 10:** Se observa estructuras tipo Riedel en el socavón mostrando una falla de tipo normal. (Fuente: del autor)



**Fotografía 11:** Se observan estrías y superficies entrantes mostrando el sentido y orientación del movimiento del fallamiento. Falla Normal sinextral. (Fuente: del autor)

## **12.4 Aspectos de la Geología Local**

### **12.4.1 Geología de los socavones y accesos ubicados en la mina**

La roca donde se encuentra emplazado los túneles mineros son rocas sedimentarias de la Fm. Labras - Grupo Yura, la cual le corresponde a una secuencia sedimentaria de areniscas, y areniscas cuarzosas con intercalaciones pequeñas de lutitas.

Las rocas sedimentarias no han sufrido alteraciones considerables en el sector a excepción de la alteración mineralizada de un estrato de arenisca cuarzosa que ha sido desplazada por la intrusión del fluido mineralizante.

Se aprecia fallas geológicas pequeñas generadas por esfuerzos compresivos como lo indican los materiales finos (panizos) encontrados entre las discontinuidades definidas como estratificación.



**Fotografía 12:** las rocas areniscas son las que se observan en los accesos. *(Fuente: del autor)*

#### **4.4.2 Geología de la portada en entrada y salida del túnel principal**

La roca donde se emplazan los portales es una roca sedimentaria del Grupo Yura conformado por rocas de arenisca, areniscas cuarzosas y estratificación de lutitas. El macizo rocoso es competente no presenta fracturación de consideración y es necesario la caracterización del afloramiento rocoso para establecer su grado de estabilidad y considerar en el desarrollo de la fase de explotación de la labor.



**Fotografía 13:** se puede apreciar los depósitos aluviales a la entrada del socavón. *(Fuente: del autor)*

#### ***12.4.2 Geodinámica al exterior en la entrada de la mina del túnel principal***

El aspecto geodinámico en la zona de los portales está conformado por aluviones pequeños debido a las precipitaciones pluviales que caen el sector, estos materiales detríticos caen en la vía de accesos hacia las labores interrumpiendo en la mayoría de los casos la producción y la productividad de las labores. Se considera realizar un sistema de protección de los taludes en ambas labores visitadas, así mismo considerando la colocación de cunetas de coronación para evitar las influencias del agua de escorrentía en el talud superior y formación de pequeños aluviones locales. El flujo de detritos estacionales podría controlarse con la realización de pozos de sedimentación escalonados.



**Fotografía 14**

*En temporada de lluvias se producen cárcavas alrededor de la entrada y colapso del material aluvial como derrumbes.*

*(Fuente: del autor)*

#### ***12.5 Investigaciones Geológico Geotécnicas***

En esta lista se muestra las investigaciones realizadas en el trabajo de campo:

- Se caracterizó litológica y estructuralmente a la masa rocosa del yacimiento, en base a la revisión y análisis de la información disponible.
- Se determinó la calidad de la masa rocosa involucrada en las áreas de estudio.
- Se elaboró la zonificación geomecánica del yacimiento, mediante la aplicación de las clasificaciones geomecánicas, las que son de forma preliminar para las labores visitadas.
- Se evaluaron las propiedades de resistencia de la roca, mediante la metodología del uso del martillo de Schmidt.
- Se evaluaron los factores complementarios de influencia sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones como el agua, los esfuerzos y los sismos.



- Se realizaron la extracción de muestras de bloques para los ensayos de laboratorio para saber el tipo de litología de interior mina, además de obtener constantes elásticas, propiedades físicas y ensayo triaxial.

### **12.5.1 Evaluación de las discontinuidades**

Las discontinuidades se evaluaron midiendo el buzamiento y dirección de buzamiento de las familias representativas, se midieron en los hastiales de las labores ya sea caja techo o piso de la veta.

Las mediciones se realizaron por estaciones geomecánicas y zonificadas de acuerdo a la continuidad en la orientación de las discontinuidades, pasando a otra estación cuando se apreciaron cambios en la dirección o en la calidad de roca



**Fotografía 15:** se observa el buzamiento de la discontinuidad principal de la mina Aguas Perdidas (*Fuente: del autor*).

A continuación, se muestra la cantidad de discontinuidades observadas en campo:

Tipo de discontinuidad	Cantidad
Contacto	1
Diaclasa	106
Estrato	14
Estrato-Falla	4
Estrato-Veta	7
Falla	2
Micro falla	4
Veta	13
Veta-Falla	1
<b>Total</b>	<b>152</b>

**Tabla 5:** tipos de discontinuidades encontradas- mina Aguas Perdidas. (*Fuente: Elaboración del autor*)

Estaciones	Cantidad
E-01	15
E-02	17
E-03	16
E-04	6
E-05	16
E-06	12
E-07	14
E-08	48
E-01N*	8
Total	152

**Tabla 6:** Todos estos datos pertenecen a la entrada norte del nivel 1465 (Fuente: *Elaboración del autor*)

Familia	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
J1	40°	055°
J2	70°	283°
J3	81°	138°
J4	79°	204°

**Tabla 7:** datos de las familias principales de discontinuidades. (Fuente: *Elaboración del autor*)

De los cuadros precedentes se tiene que la familia principal de las discontinuidades corresponde a la orientación de la estratificación de la roca sedimentaria (N 130-140 y buzamiento 40-45 NE) que es la roca de caja y el emplazamiento de la veta está influenciado por la estratificación. En los planos Geomecánicos se puede distinguir la orientación de las principales discontinuidades mediante el diagrama de rosetas.

### **12.5.2 Uso del Martillo de Schmidt para la evaluación de rocas**

Para determinar la resistencia in situ de la roca presente en el entorno del laboreo minero se utilizó el Martillo de Schmidt. Dicho instrumento fue previamente calibrado y probado su operatividad. Las pruebas principalmente se realizaron en los hastiales de las labores, las superficies se adecuaron mediante el raspado de la zona con el accesorio del martillo a fin de obtener valores promedio.

Para las estaciones que se evaluaron se tomaron ensayos de rebote de acuerdo a las consideraciones para el uso de Schmidt, en el presente caso se tomaron los 10 valores más altos los cuales fueron promediados, luego dicho valor se relacionó con la densidad de la roca.

Estación	Rebote Promedio	Densidad de la roca (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)
E-01	32	2.66	51
E-02	30	2.66	51
E-03	29	2.66	48
E-04	33	2.66	58
E-05	34	2.66	60
E-06	32	2.66	56
E-07	31	2.66	54
E-08	32	2.66	56
E-01N	30	2.66	50
Total	31.46	2.66	53.78

**Tabla 8:** resumen de los valores obtenidos por ensayos del martillo de Shmidt. (Fuente: *Elaboración del autor*)

### 12.5.3 Toma de muestras para obtener datos sobre la litología

Se ha realizado una extracción de muestras representativas y frescas de la mina Agua Perdidas con la finalidad de caracterizar la litología con descripciones a nivel macroscópico, así como microscópico.

La dimensión de las muestras tiene como tamaño estándar el tamaño de la mano de la persona que muestrea. Una vez extraídas estas muestras de roca son llevadas al gabinete donde se procedió a realizar su registro y descripción a nivel macroscópico. La primera muestra representativa MI (Muestra de roca intrusiva) es mostrada a continuación.



**Fotografía 17:** se observa la muestra fresca MI. (Fuente: *del autor*)

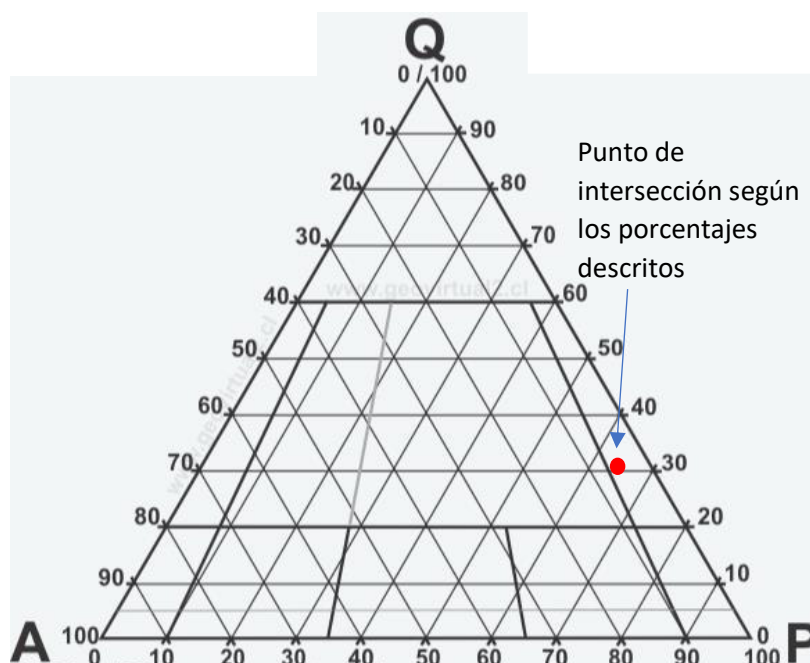


**Fotografía 16:** se observa la muestra MI con los cortes realizados. (Fuente: *del autor*)



**Fotografía 18:** se muestra el corte de la muestra MI (Fuente: del autor)

En las fotos anteriores donde se exponen una muestra de roca representativa donde se observó a nivel macroscópico con lo cual se expone una descripción de sus características tales como el color gris claro con una textura fanerítica de grano medio (2-5mm de tamaño de los cristales), muy dura y rugosa al tacto, no muestra una orientación preferencial y además se observan los porcentajes de 25% de cuarzo, 60% de feldespatos de calcosódicos y al menos un 5% de feldespato potásico lo que coincide con la bibliografía consultada sobre las intrusiones de plutones con composición de granodioritas. En este caso la roca observada es clasificada como tonalita.



**Gráfico 2:** se muestra el ploteo de datos según la descripción macroscópica realizada en gabinete. El punto cae en el campo de las tonalitas. (Fuente: elaboración del autor)

La segunda muestra de roca representativa MV (muestra de roca volcánica) es descrita y expuesta a continuación:



**Fotografía 20:** muestra MV con  
(Fuente: del autor)



**Fotografía 19:** se observa el corte de la Muestra MV (Fuente: del autor)



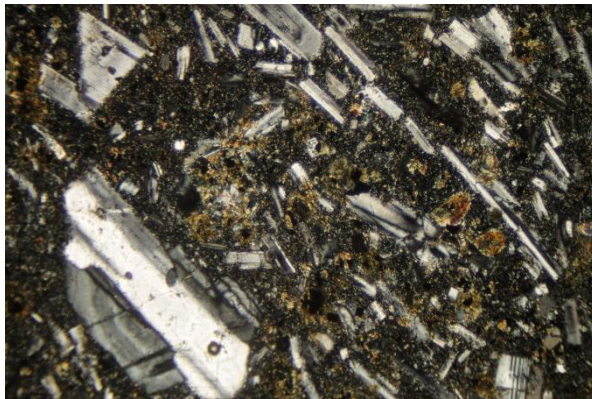
**Fotografía 21:** corte de la muestra MV. (Fuente: del autor)

Para el caso de la muestra de roca representativa MV no es posible ver los porcentajes de minerales constituyentes a simple vista por lo que se hace necesaria la descripción de la muestra a nivel microscópico. Sin embargo, se han observado fragmento de roca que pertenecen a otras litologías con formas angulosas y redondeadas que a su vez se encuentran muy fracturadas lo que nos hace pensar que es una roca de tipo volcánica con asimilación de fragmentos durante su formación de composición andesítica.

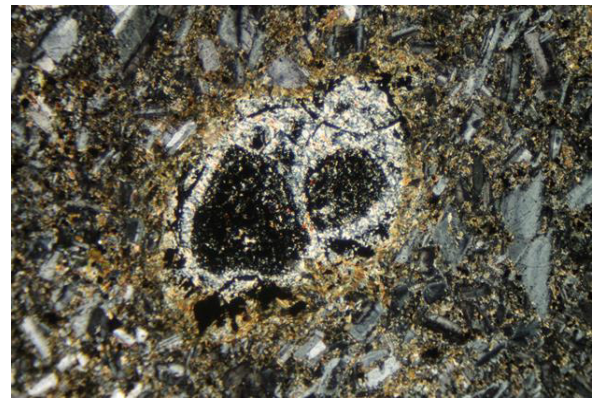


#### **12.5.4 Observación y análisis de muestras al microscopio**

Una vez completadas las observaciones y análisis de las muestras de mano a nivel macroscópico se procedieron a mandar las muestras al laboratorio donde se realizan secciones delgadas y posteriormente visualizar de manera más exhaustiva el tipo de roca encontrada en la mina Aguas Perdidas mediante una nueva observación a nivel microscópico de las muestras anteriormente mostradas.



**Fotografía 23:** se observa la muestra MVM.1 en nícoles cruzados vista al microscopio. (Fuente: del autor).



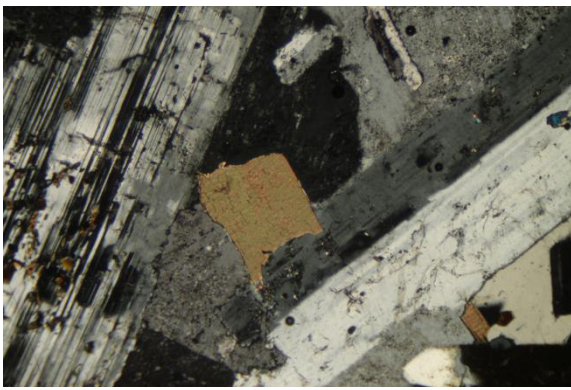
**Fotografía 22:** vista al microscopio en nícoles cruzados de la muestra MVM.2. (Fuente: del autor)

En la fotografía de la muestra MVM.1 se observa una textura de tipo porfidítica donde se observan fenocristales de plagioclasa de tres tamaños; en la zona inferior izquierda puede observarse una plagioclasa de mayor tamaño en la imagen con una zonación seriada, en la zona superior derecha se observan fenocristales de plagioclasa de tamaño intermedio mientras que en la parte intermedia se observan cristales de menor tamaño y es apreciable la matriz con tamaño de grano fino. Para la muestra MVM.2 puede observarse dos formas nodulares muy claras de minerales opacos rodeados de carbonatos y micas, los minerales de color pardo amarillento son biotitas, muchas de estas alteradas. Debajo del nódulo de mayor tamaño es posible apreciarse un mineral opaco con una forma poliédrica muy bien marcada.

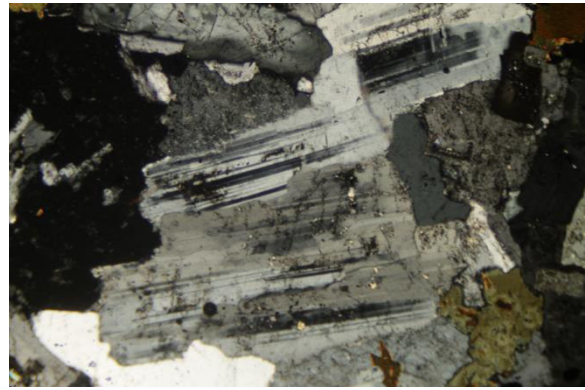


En la **Fotografía 24:** mostrada MVM.3 se observa una venilla de cuarzo que corta a los minerales formadores de roca. Se observa clorita, carbonatos y micas como producto de la alteración retrógrada y un típico ensamble de alteración propilítica.

Para la muestra MI presentada en la observación macroscópica de muestra de mano se obtuvieron las siguientes fotografías de secciones delgadas:



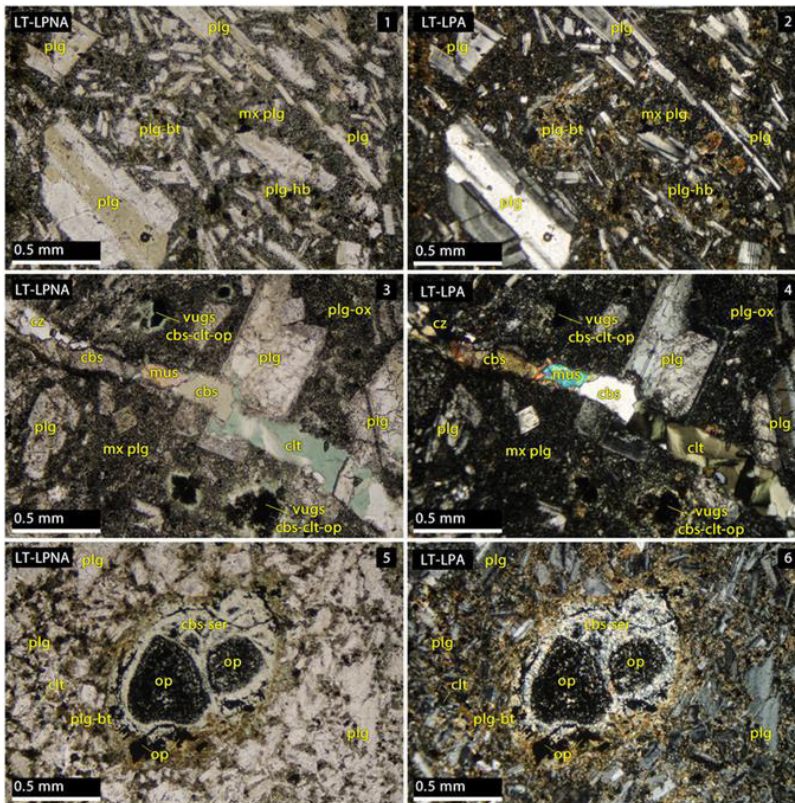
**Fotografía 26:** muestra MIM.1 (*Fuente: del autor*)



**Fotografía 25:** muestra MIM.2 (*Fuente: del autor*)

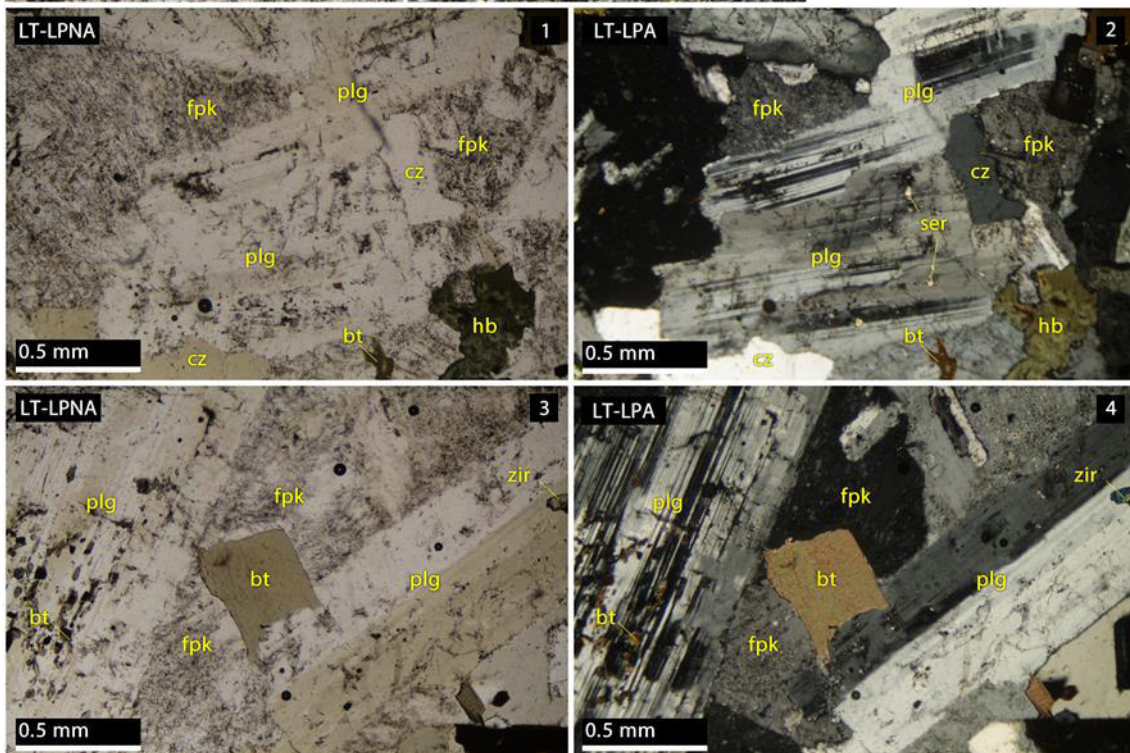
En las fotografías MIM.1 y MIM.2 se observa una textura fanerítica con cristales de plagioclasa, biotita, feldespato potásico y cuarzo. Los cristales de plagioclasa muestran maclas polisintéticas, los feldespatos potásicos se observan de color gris oscuro con oquedades donde se observa la formación de arcilla como producto de alteración de estas. Estas características y proporción de minerales son típicos de roca granodiorita.





### Imagen 9

En esta imagen se observan todas las fotos tomadas a la muestra MV en el microscopio. En el lado izquierdo se aprecian las imágenes en nicoles paralelos y al lado derecho las mismas fotografías en nicoles cruzados. Se adjunta simbología de los minerales encontrados.



**Imagen 10** Se observan las fotografías de la muestra MI en el microscopio. Hacia el lado izquierdo la muestra se observó en Nicole paralelos mientras que al lado izquierdo puede verse en nicoles cruzados. Se adjunta simbología de los minerales encontrados.



### ***12.5.5 Toma de muestras para propiedades físicas y mecánicas de la roca***

Se ha realizado la extracción de muestras con lo que se podrá determinar el comportamiento mecánico de las rocas con una mejor precisión, además debido al tipo de trabajo que se realizó es imperativo obtener datos geomecánicos mediante los ensayos de constantes elásticas, propiedades físicas y ensayos triaxiales.

Las muestras extraídas en campo para el análisis mecánico se muestran a continuación:



***Fotografía 28: muestra 6 (Fuente: del autor)***



***Fotografía 27: muestra 7. (Fuente: del autor)***



***Fotografía 30: muestra 8. (Fuente: del autor)***



***Fotografía 29: muestra 9. (Fuente: del autor)***



***Fotografía 31: muestra 10. (Fuente: del autor)***

Los bloques de muestras que se obtuvieron y fueron entregados al laboratorio de la empresa GEOMECH se detallan en el cuadro siguiente:

Nº	Código de Muestra	Mina- Procedencia	Cantidad - Tipo Ensayo	Tipo Muestra
1	M-6	Aguas Perdidas	2 - Ensayo de Propiedades Físicas 2 - Ensayo de Propiedades Elásticas 2 - Ensayo Triaxial	Roca de Caja
2	M-7	Aguas Perdidas		
3	M-8	Aguas Perdidas		
4	M-9	Aguas Perdidas		
5	M-10	Aguas Perdidas		

**Tabla 9:** resumen de las muestras enviadas a laboratorio GEOMECH

### 12.5.6 Resultados de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo en la empresa GEOMECH, los ensayos que se abarcó fueron de constantes elásticas, las propiedades físicas y triaxial. A continuación, se hace muestra de los resultados.

Muestra	Diámetro	Altura	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico Aparente (KN/m <sup>3</sup> )	Contenido de humedad	Porosidad Aparente (%)
M10 - Roca Caja	5.48	2.07	2	2.72	26.69	0.23	0.65
	5.48	2.03	2.74	2.75	26.91	0.23	0.66
	5.48	2.03	2.46	2.5	24.52	1.42	3.58
<b>Promedio</b>				<b>2.66</b>	<b>26.04</b>	<b>0.62</b>	<b>1.63</b>

**Tabla 10:** se muestran los resultados de propiedades físicas de las muestras extraídas – Laboratorio GEOMECH

ID Muestra		Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (KN)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
Roca de Caja	M8	5.48	10.98	161.6	68.52	12.95	0.22

R.E.: Relación de Esbeltez=H/D~2.0

**Tabla 11:** resultado de propiedades elásticas – laboratorio GEOMECH

ID Muestra		Diámetro (Cm)	Altura (cm)	Conf in. $\sigma_3$ (MPa)	Esfuerzo Comp. $\sigma_1$ (MPa)	Resist en. Comp res. Uniaxial (MPa)	Co h e s i ó n	Angulo de Fricción Interno ( $^\circ$ )	Constant e "mi"
Roca de Caja	M8	5.48	110	0	68.52	73.93	12.56	48.88	17.83
	M10	5.48	106	2	97.17				
	M10	5.48	110	4	104.55				
	M8	5.48	110	6	108.61				

**Tabla 12:** resultados de ensayo de compresión triaxial – laboratorio GEOMECH

R.E.: Relación de Esbeltez

R.E. =  $H/D \approx 2.0$

Nota 1: R.E. = Relación de Esbeltez, es más riguroso e influyente en Pruebas UCS y Triaxial.

Nota 2: Conf. = Confinamiento Lateral.

Nota 3: Esf. Comp. = Esfuerzo de Compresión, de Rotura, Vertical.

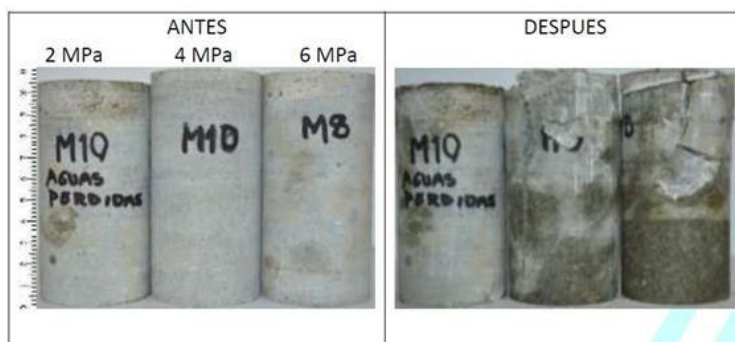
Nota 4: UCS\* = Resistencia a la Compresión Uniaxial (valor indirecto, tomado de las formulaciones para el cálculo de las constantes "mi", Cohesión y Fricción). No es un parámetro Directo como si lo es el ensayo UCS del cuadro 5. Nota 4: Ángulo. Fricción Interno = Ángulo de Fricción Interno.

### 12.5.7 Propiedades de la roca intacta

Como resumen se tiene que las propiedades de la roca intacta para el caso de la arenisca predominante en la mina Aguas Perdidas son las siguientes:

Litología	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"	Densidad Húmeda gr/cm3	Resist. a la Comp Uniaxial (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción Interno ( $^\circ$ )	Cte "mi"
Roca de Caja - Arenisca	0.22	10.98	2.64	68.52/73.93	12.56	48.88	17.83

**Tabla 13:** resumen de propiedades de la roca intacta – laboratorio GEOMECH



**Imagen 11:** se observan las probetas de M-8 y M-10 como resultados de compresión triaxial.

## ***12.6 Análisis de estabilidad de las excavaciones***

En el presente acápite se describen los trabajos realizados en el macizo rocoso relacionado con el proyecto. Para evaluar el macizo rocoso que conforma el proyecto de los túneles mineros, fue necesario realizar investigaciones de campo consistentes en geología de superficie y en el cartografiado de discontinuidades, como resultado de ello se elaboraron los respectivos estereogramas o diagramas de polos de diaclasas o contactos observados, cuyo análisis ha permitido establecer los sistemas preferenciales de planos de discontinuidad en la rocas, andesita y granodiorita del macizo, además se obtuvo muestras de roca de los sectores representativos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales rocosos implicados en el proyecto. En las labores realizadas para cada estación mayoritariamente se observó roca intrusiva correspondiente a las granodioritas. Cada particularidad encontrada por estación es explicada en cada una de las estaciones mostradas a continuación donde se detalla de manera más puntual estas características.

### ***12.6.1 Consideraciones sobre las condiciones de estabilidad***

Se ha efectuado en el campo el levantamiento o toma de datos de las discontinuidades observables con predominancia y representativas de las zonas evaluadas tales como buzamiento, dirección de buzamiento, tipo de discontinuidad y su rugosidad, el tipo de relleno y su espesor, considerándose 8 estaciones geomecánicas para el sector del Nivel 1820 Mina Aguas Perdidas y 1 Estación para la Bocamina Norte Nivel 1465, en adelante se muestra las principales familias de discontinuidades resultantes por cada estación geomecánica.

Se realizan las proyecciones estereográficas de las discontinuidades del macizo de roca para la obtención de los sistemas de familias principales de discontinuidades en las galerías donde se han recolectado los datos de las discontinuidades. Para ello ha sido necesario medir el ángulo y el buzamiento, dirección de buzamiento, el relleno y rugosidad y formar la base de datos para insertarla en el programa *Dips*.

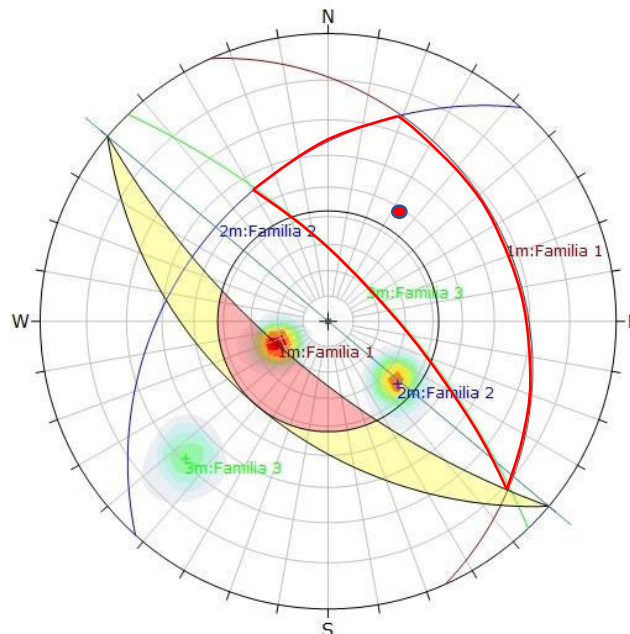
Con el software *Dips* selecciona la zona con mayor concentración de puntos, se toman los polos que han sido representados bajo la forma de planos. En general, se han destacado 3 planos y 4 planos en algunos casos, cuyas orientaciones son las de los principales sistemas de discontinuidades en el macizo estudiado. También se tomó en cuenta los resultados de propiedades de resistencia geomecánica que tiene la roca para poder realizar

con mayor precisión el análisis de las estaciones geomecánicas presentadas a continuación.

#### ***12.6.1.1 Análisis de familias de discontinuidades***

##### ***12.6.1.1.1 Estación geomecánica E-01***

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en el hastial derecho en relación a la labor minera. Los sistemas predominantes son tres familias las cuales son observables en la imagen mostrada a continuación. Se observó que la formación de esta cuña presenta un peligro debido a que esta podría colapsar en cualquier momento. Sin embargo, se observó a su vez que las cuñas en interior mina mostraban alteración por silicificación además de mostrar una “soldadura” de esta cuña lo que nos hace pensar en una mayor dificultad en cuanto a caída de este bloque se refiere. La cuña formada por estas familias de discontinuidades se observa en el estereograma como triángulo esférico delimitado por líneas curvilíneas de color rojo, además también se muestra el centro de gravedad de esta cuña la cual es un punto color rojo. Aquí podemos ver que el centro de gravedad de esta cuña se encuentra fuera del cono creado a partir del ángulo de fricción natural que tiene la roca, es este caso de  $48^\circ$  para la granodiorita. Así que se hace imperativo calificar la formación de esta cuña como un peligro en las labores mineras. La región sombreada muestra la dirección en la cual podría deslizarse la cuña además de formar o liberar algunas otras cuñas que no puedan ser observadas durante la elaboración de la estación geomecánica por lo que es necesario también tenerla en cuenta para poder tener una idea del tipo de sostenimiento a realizar y los efectos que se pueda mitigar o evitar en el mejor de los casos.

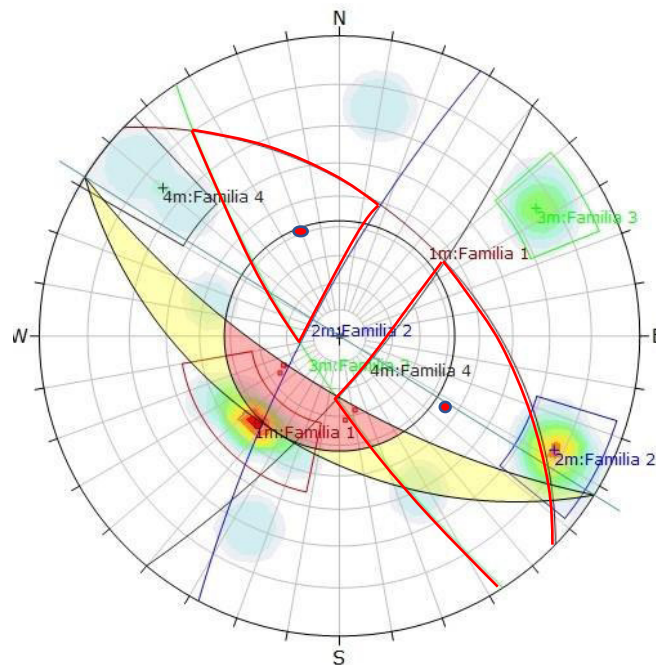


**Imagen 12:** análisis del estereograma en la Estación 01 en la mina Aguas Perdidas donde es posible observarse la formación de una cuña de tipo tetraédrica por la intersección de tres planos, cada uno de estos interceptándose de a pares.

#### 12.6.1.1.2 Estación geomecánica E-02

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa dos cuñas en el hastial derecho en relación a la labor minera.

Se han determinado cuatro familias principales de discontinuidades las cuales combinadas forman estas cuñas mencionadas anteriormente mencionadas, observando el centro de gravedad (puntos rojos dentro de las cuñas) de estas cuñas nos damos cuenta que se encuentran al margen ángulo de fricción natural de la roca por lo que requiere soporte mecánico y así evitar la caída de estos bloques de roca. Se muestra una circunferencia interior en el estereograma que muestra la proyección del cono formado por el ángulo de fricción natural que tiene la roca, en este caso de  $48^\circ$  por la roca granodiorita y una dirección de potencial caída de bloques determinada por la región sombreada de color amarillo. La región rosada muestra la intersección de la dirección de potencial caída de bloques en relación a con la proyección del cono de ángulo de fricción natural del material. Los puntos rojos más pequeños muestran intersecciones de los planos de diaclasas asociados a las cuñas mostradas en la proyección estereográfica.



**Imagen 13:** análisis del estereograma en la Estación 02 en la mina Aguas Perdidas

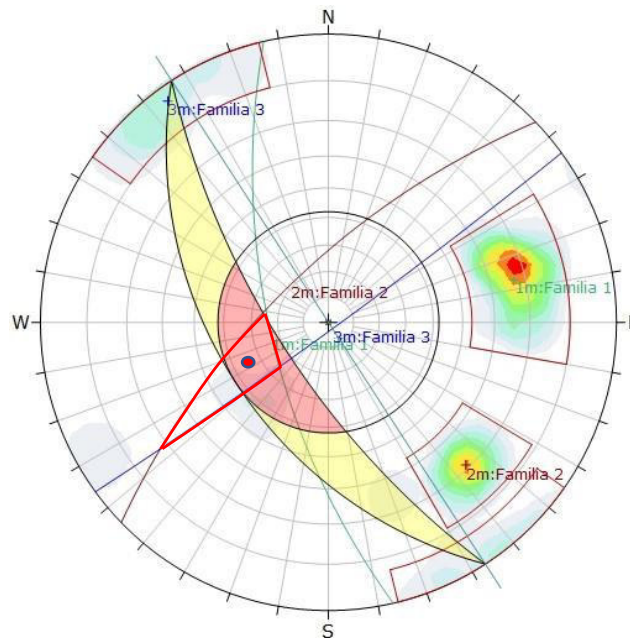
#### **12.6.1.1.3 Estación geomecánicas E-03**

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en hastial derecho en relación a la labor minera.

Aquí se han determinado tres familias principales de discontinuidades, las cuales forman una cuña tetraédrica. Esta cuña es pequeña por lo que no presentan un peligro tan grande si la comparamos con las cuñas antes vistas de las estaciones E-01 y E-02, sin embargo el detalle importante a resaltar es que se encuentra en una zona muy especial, esta es la zona de intersección de estabilidad natural dada por la proyección del cono de ángulo natural de fricción de la roca en relación a su contraparte que es la potencial dirección de desplazamiento de la cuñas, otro aspecto importante a destacar en la observación del centro de gravedad de la cuña (punto color rojo), esta se encuentra dentro de la región estable por lo que nos da mayores argumentos a considerar la estabilidad del bloque sin dejar de aclarar la alteración de tipo silicificación que produce una mejora de la resistencia mecánica de la roca y aumentando la rugosidad además de rellenar los planos de discontinuidad por lo que es una zona buena en términos de estabilidad.

Como punto resaltante para el lector del presente trabajo nuevamente se pone en manifiesto que la vista del geólogo, la observación y criterio de campo deben ser de gran preponderancia al momento de realizar un análisis con resultados aparentemente desfavorables mostrados en un programa.





**Imagen 14:** Análisis del estereograma en la Estación 03 en la mina Aguas Perdidas.

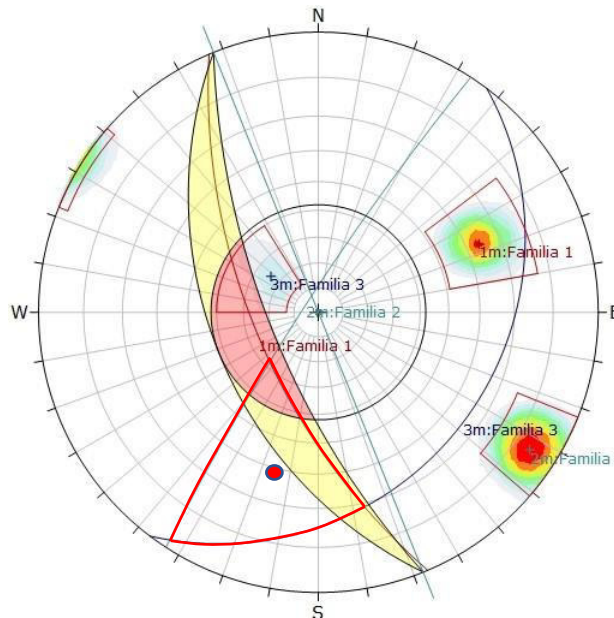
#### **12.6.1.1.4 Estación geomecánica E-04**

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en el hastial derecho en relación a la labor minera.

Se han determinado tres familias principales en esta estación geomecánica, de las cuales la familia una se encuentra casi paralela a la labor minera y además de la potencial dirección de caída de la cuña mostrada, ésta es de mayor tamaño en comparación a la encontrada en la E-03, además de mostrar el centro de gravedad fuera de la región estable dada por la proyección del cono de ángulo de fricción interna natural de la roca granodiorita e interceptada con la región de potencial desplazamiento de cuña podemos decir que el peligro es mayor por lo que requiere de un tratamiento más delicado al momento de evaluar esta estación geomecánica. Solo una pequeña parte de esta cuña de tipo tetraédrica se encuentra dentro del región estable por lo que no es representativo tomar esto como un argumento la estabilidad de la cuña.

Otra observación que apoya la disminución de la caída de esta cuña es la alteración de silicificación que se mostró en campo dando un punto a favor en el análisis de estabilidad de bloques en esta estación geomecánica, sin embargo, habrá que tomar en consideración los aspectos en contra con mayor ponderación para tener la idea de la necesidad de un sostenimiento más elaborado en esta zona.





**Imagen 15:** análisis del estereograma en la Estación 04 en la mina Aguas Perdidas

#### **12.6.1.1.5 Estación geomecánica E-05**

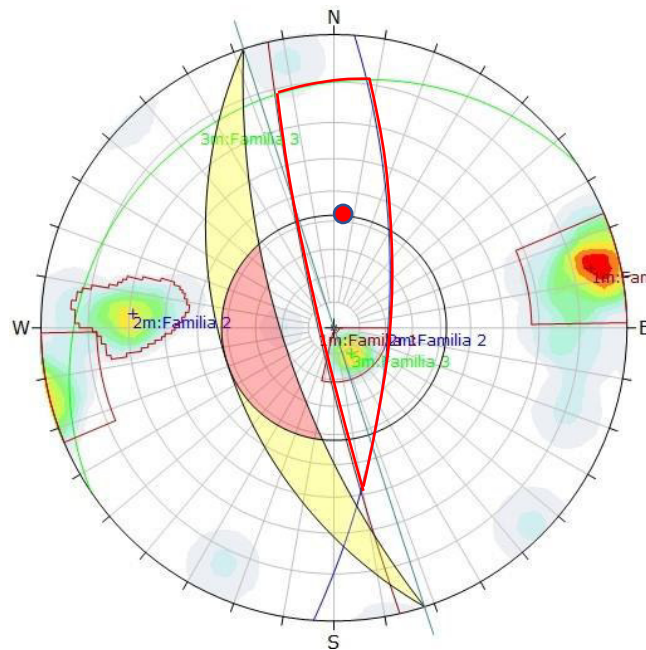
En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en la bóveda y cercana al hastial izquierdo en relación a la labor minera.

Los sistemas de discontinuidades encontrados han sido tres.

La cuña mostrada como parte de la proyección estereográfica de esta estación puede observarse como un bloque de tamaño considerable para ser tomado en cuenta como un peligro observable en la labor minera, esta cuña (delimitada por líneas curvilíneas color rojo) con centro de gravedad fuera del límite de la región estable dada por la proyección del ángulo de fricción natural de la roca granodiorita ( $48^\circ$  para este caso) muestra su potencial caída en cualquier momento dado durante las actividades de minado.

Las familias 1 y 2 de discontinuidades que forman la cuña mostrada se encuentra como planos casi paralelos a la dirección de las labores mostradas como una línea celeste que sobresale de los límites del estereograma, además de contar con un paralelismo respecto a la región de inestabilidad o potencial desplazamiento de bloques en la labor minera. Así que debe ser considerada como área donde se realizarían labores de sostenimiento adecuados.

La roca observada en campo no presentaba alteración de silicificación, aunque los planos de discontinuidad no mostraban alteración y se encontraban muy juntas lo que hace que este bloque se haya mantenido estable.



**Imagen 16:** análisis del estereograma en la Estación 05 en la mina Aguas Perdidas.

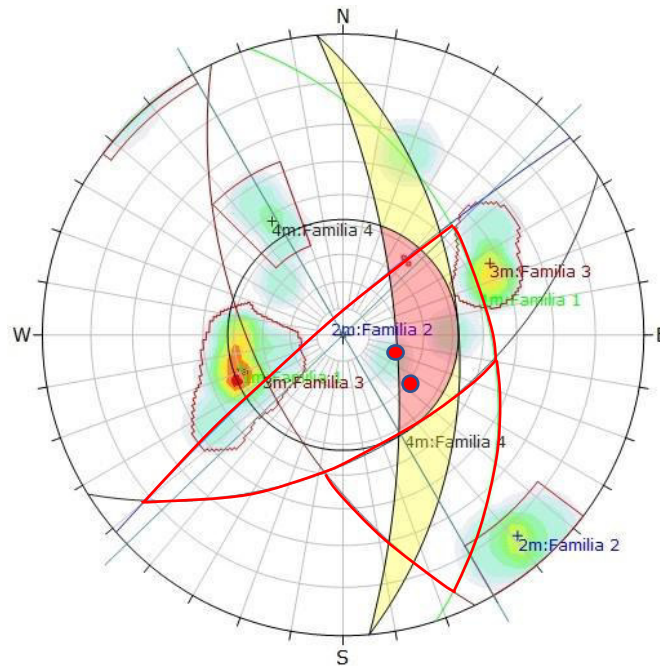
#### **12.6.1.1.6 Estación geomecánica E-06**

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en los hastiales izquierdos en relación a la labor minera.

Los sistemas predominantes de discontinuidades observados han sido 4.

En la proyección estereográfica mostrada pueden observarse dos cuñas de tamaño considerable que se interceptan. Cada una de ellas con un centro de gravedad dentro de la región estable dada por la proyección del cono de ángulo de fricción natural de la roca por lo que nos da una idea de la estabilidad de estos bloques generados a partir de los planos de discontinuidad mostrados en la proyección estereográfica. Cada una de las cuñas tienen una orientación similar a las labores en las que se encuentran, sin embargo, se ha tomado como dirección de labor principal a la que predomina en la mina Aguas Perdidas.

La intersección de estas cuatro familias a su vez muestra que pueden producirse aún más cuñas de tipo tetraédrica como lo es la parte central de esta proyección estereográfica.

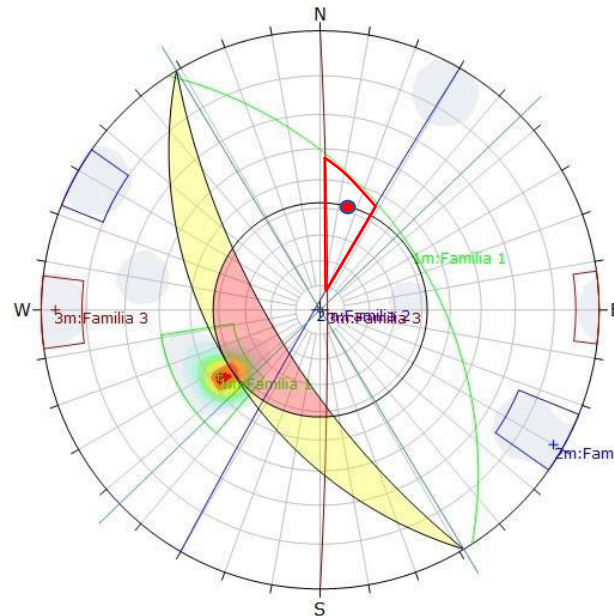


**Imagen 17:** análisis del estereograma en la Estación 06 en la mina Aguas Perdidas.

#### **12.6.1.1.7 Estación geomecánica E-07**

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observa una cuña en el hastial derecho en relación a la labor minera.

Se han determinado tres familias principales de discontinuidades principales las cuales forman una cuña pequeña delimitada por líneas curvilíneas color rojo cuyo centro de gravedad (punto color rojo) se encuentra dentro de la región estable determinada por la proyección del cono de ángulo de fricción interna de la roca y lejos de la región determinada como la zona preferencial donde podrían darse los desplazamientos de bloques en las labores mineras cercanas a esta estación.

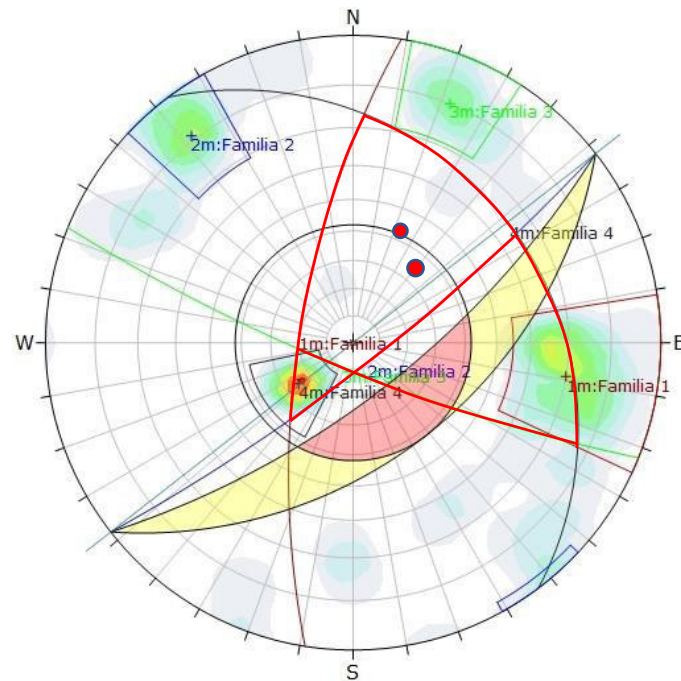


**Imagen 18:** análisis del estereograma en la Estación 07 en la mina Aguas Perdidas.

#### **12.6.1.1.8 Estación geomecánica E-08**

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico donde se observan dos cuñas en el hastial izquierdo en relación a la labor minera.

Se han observado cuatro familias principales de discontinuidades que forman dos cuñas las cuales son resaltadas por líneas curvilíneas color rojo de tipo tetraédrica las cuales tienen centros de gravedad (color rojo) dentro y cerca al límite de la región estable dada por la proyección del cono de ángulo de fricción de la roca. Esto nos da idea de la estabilidad existente de estos bloques de roca en el socavón, sin embargo, la familia 2 de discontinuidades se encuentra en una disposición paralela a la labor lo que nos da a su vez la idea de la potencial formación de cuñas de tipo prismáticas en caso se intercepte con otra discontinuidad de orientación paralela o semi paralela y con una dirección de buzamiento contraria a esta.

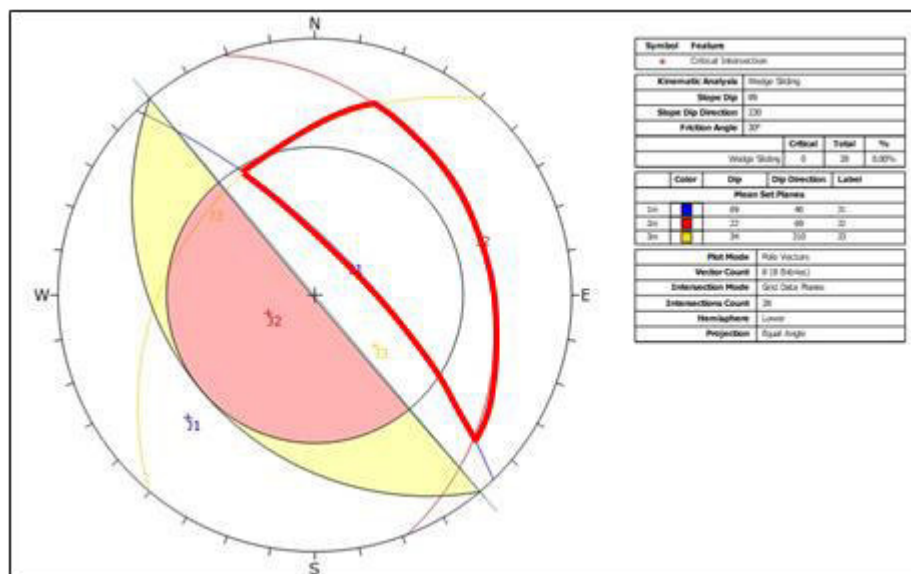


**Imagen 19:** Análisis del estereograma en la Estación 08 en la mina Aguas Perdidas

#### 12.6.1.1.9 Estación geomecánica E-01N

En la siguiente figura se muestra el análisis estereográfico simplificado donde se observa una cuña en el hastial izquierdo en relación a la labor minera cerca a la bocamina.

Los sistemas predominantes son J1, J2 Y J3.

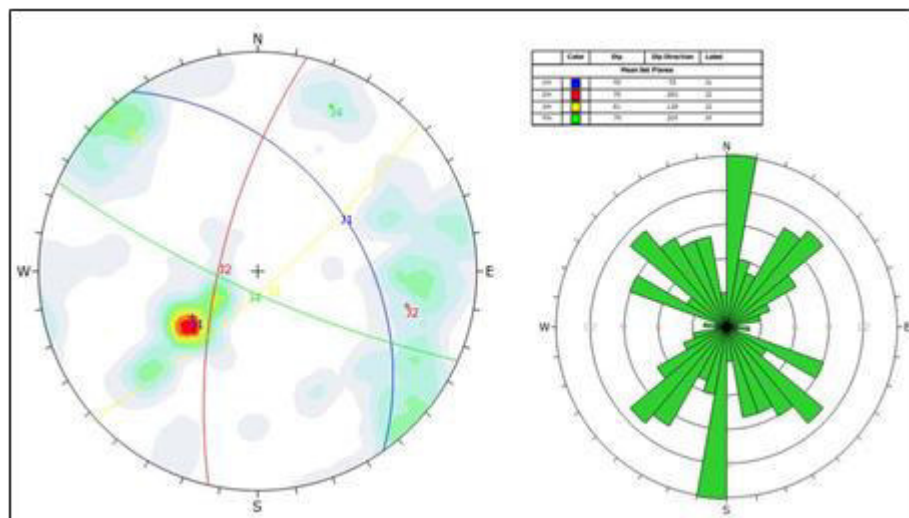


**Imagen 20:** análisis del estereograma en la Estación 01N Carolina en la mina Aguas Perdidas.

El análisis de todos los datos de discontinuidades levantados en campo nos ha permitido establecer los sistemas preferenciales de discontinuidades geológicas y que se mencionan a continuación:

Familia	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
<b>J1</b>	40	055
<b>J2</b>	70	283
<b>J3</b>	81	138
<b>J4</b>	79	204

**Tabla 14:** se muestra las familias de discontinuidades con sus respectivos buzamientos y direcciones de buzamiento promedios encontradas de las estaciones geomecánicas de la mina Aguas Perdidas.



**Imagen 21:** Diagrama de roseta mostrando la frecuencia con respecto a su orientación de las discontinuidades en mina Aguas Perdidas.

### 12.6.2 Análisis de estabilidad y apertura máximas

Las clasificaciones geomecánicas que se describen básicamente en adelante para realizar la valoración de las estaciones geomecánicas.

Se ha evaluado el macizo rocoso bajo el criterio de Clasificaciones Geomecánicas considerando las propiedades de la roca y las discontinuidades obtenidas en el campo. Los resultados de esta evaluación se describen a continuación:



## Sistemas de calificación Geomecánica del Macizo Rcoso

### Sistema RMR

El Rock Mass Rating (RMR), establecido por Bieniawski – (1989) es realizada mediante la valoración de 5 parámetros que intervienen:

- Resistencia a la compresión simple (o carga puntual).
- RQD (Rock Quality Designation).
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condiciones físicas de las discontinuidades.
- Presencia de agua subterránea.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3 – 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60-41	2 – 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 – 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	<15°

**Tabla 15:** clasificación geomecánica del macizo rocoso. Fuente: (González de Vallejo, 2002, pág. 233).

### Sistema Q de Barton

El Q de Barton, denominado también Índice de Calidad Tunelera, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD: índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation).

J<sub>n</sub>: índice de diaclasado (Joint Set Number).

J<sub>r</sub>: grado de rugosidad de juntas (Joint Roughness Number).

J<sub>a</sub>: grado de apertura de juntas (Joint Alteration Number).

J<sub>w</sub>: contenido de agua en las juntas (Joint Water Number).







SRF: factor de reducción de esfuerzos (Stress Reduction Factor).

Q (Rock Mass Quality)	Valoración
0.001- 0.01	Excepcionalmente Mala
0.01-0.1	Extremadamente Mala
0.1-1.0	Muy Mala
1.0-4.0	Mala
4.0-10.0	Regular
10.0-40.0	Buena
40.0-100.0	Muy Buena
100.0-400.0	Extremadamente Buena
400.0-1000.0	Excepcionalmente Buena

**Tabla 16:** clasificación *Q* de Barton. *Fuente (Osinerghin, 2017)*

### Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

El Geological Strength Index (GSI), evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.

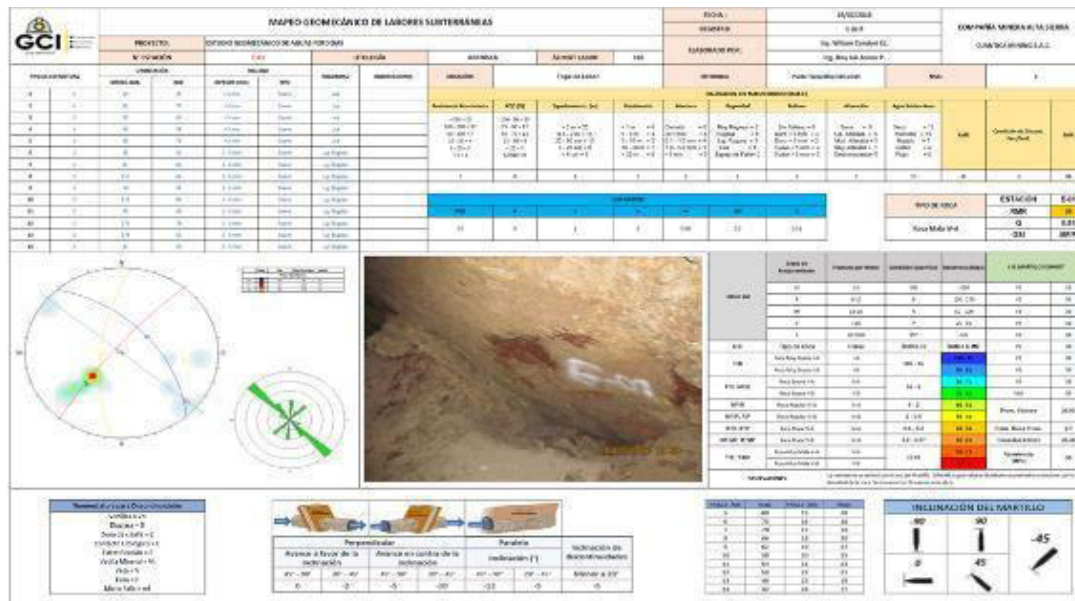
Rock Type: <input type="text" value="General"/> <input type="button" value="OK"/>	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**Tabla 17:** tabla de clasificación de GSI *Fuente:(Osinerghin, 2017)*

En base a las clasificaciones geomecánicas descritas se tiene el formato de reporte de mapeo de estaciones geomecánicas en la cual se indican las características de las discontinuidades, datos para el sistema Q, data para el sistema RMR, datos de resistencia



con el martillo de Schmidt y la valoración de cada uno de los sistemas aplicados. Además, se presenta el estereograma de las discontinuidades, roseta de discontinuidades y la fotografía de la estación geomecánica.



**Tabla 18:** formato usado para mostrar la reunión de datos obtenidos en campo donde se muestran los resultados de la clasificación geomecánica. *Fuente: consultora GCI (Geotecnistas, Constructores e Ingenieros).*

Los resultados de las clasificaciones geomecánicas se muestran en el cuadro siguiente detallados por estaciones geomecánicas.

Estación	RMR	Q	GSI
E-01	3	0.5	MF/R
E-02	3	0.8	MF/R
E-03	3	0.9	MF/P
E-04	3	0.9	MF/R
E-05	4	1.6	F
E-06	4	1.1	MF/R
E-07	3	0.7	MF/R
E-08	4	1.6	F
E-01N	4	1.3	MF/P
<b>Promedio general</b>	<b>39.4</b>	<b>0.99</b>	<b>MF/R</b>

**Tabla 19:** Resumen de Valores de RMR, Q y GSI por Estaciones Geomecánicas. *(Fuente: del autor)*

Las estaciones geomecánicas se ubicaron en los planos y se determinó la profundidad, en base los planos con curvas de nivel de la superficie información proporcionada por Cuántica Mining S.A.C.

Estación	X	Y	Z	Cota Superficie	Profundidad
E-01	50740	8391713.14	1823.84	19	104.16
E-02	50743	8391662.54	1823.26	19	107.74
E-03	50746	8391662.54	1820.93	19	104.07
E-04	50747	8391634.01	1820.77	19	96.23
E-05	50748	8391606.71	1820.7	19	91.3
E-06	50752	8391675.88	1780.17	19	140.83
E-07	50750	8391745.49	1777.52	19	143.48
E-08	50742	8391550.40	1820.2	18	59.8
E-01N	50639	8393150.16	1466.88	14	12.12

**Tabla 20:** ubicación de las estaciones geomecánicas en mina Aguas Perdidas. (Fuente: del autor)

### Máxima apertura de autosostenibilidad (MMA)

Para el cálculo de la máxima abertura auto estable, se ha considerado el método de Q de Barton, que considera la relación del valor de Q con el ESR este último depende la descripción de la excavación.

La máxima abertura puede ser estimado a partir de la siguiente formula:

$$MMA = 2 \times ESR \times Q^{0.4}$$

Categoría de las excavaciones	Descripción	ESR
A	Excavaciones mineras temporales	3-5
B	Aberturas mineras permanentes, túneles de agua para hidroeléctricas (excluyendo conductos forzados de alta presión), túneles, galerías y socavones para grandes excavaciones.	1.6
C	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles carreteros y ferrocarriles menores, cámaras de equilibrio, túneles de acceso	1.3
D	Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel	1.0
E	Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas	0.80

**Tabla 21:** se muestra categorías de excavaciones

Las máximas aberturas calculadas para las condiciones identificadas en las estaciones geomecánicas se muestran en el cuadro siguiente:



De acuerdo a los resultados de la evaluación mediante clasificaciones Geomecánicas se ha comprobado que las labores subterráneas son estables, para lo cual se considera que los trabajos que se realizaron al respecto deberían continuarse.

### 12.6.3 Análisis de estabilidad de excavaciones

Para realizar el modelo de la deformación de una sección de excavación del túnel de acceso, se realizaron en el laboratorio certificado de mecánica en los cuales se hace uso pleno de los parámetros geomecánicos en cuestión. Sean estos para efectos del modelamiento debido a que no se cuenta con información de los esfuerzos in situ en la mina Aguas Perdidas, los esfuerzos se han calculado en base al criterio empírico de Sheorey:

$$\sigma_v = \gamma Z$$

Los resultados de los esfuerzos estimados por estación geomecánica se muestran en el cuadro siguiente:

Estación	Densidad de roca (kg/m <sup>3</sup> )	Sv
E-01	2.66	2.8
E-02	2.66	2.9
E-03	2.66	2.8
E-04	2.66	2.6
E-05	2.66	2.4
E-06	2.66	3.7
E-07	2.66	3.8
E-08	2.66	1.6
E-01N	2.66	1.0

**Tabla 23:** se muestra datos de las estaciones geomecánicas, densidad promedio de la roca estudiada y la fuerza de la densidad de roca sobrepuesta a las labores (Sv).

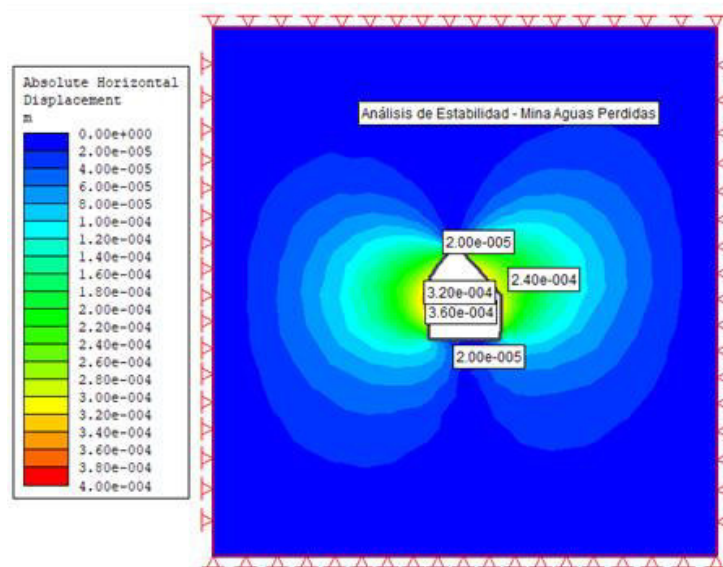
*Fuente: (Seguridad Minera, 2013).*

En esta sección se muestran la posible deformación que se generaría durante la excavación del túnel. Para esto se utilizó el programa de computación PHASE2 8.0, el cual emplea como datos de entrada los parámetros de resistencia mecánica y las propiedades elásticas del macizo rocoso estudiado, utilizando el Criterio Hoek y Brown Generalizado.

En adelante se muestran los análisis realizados bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas.

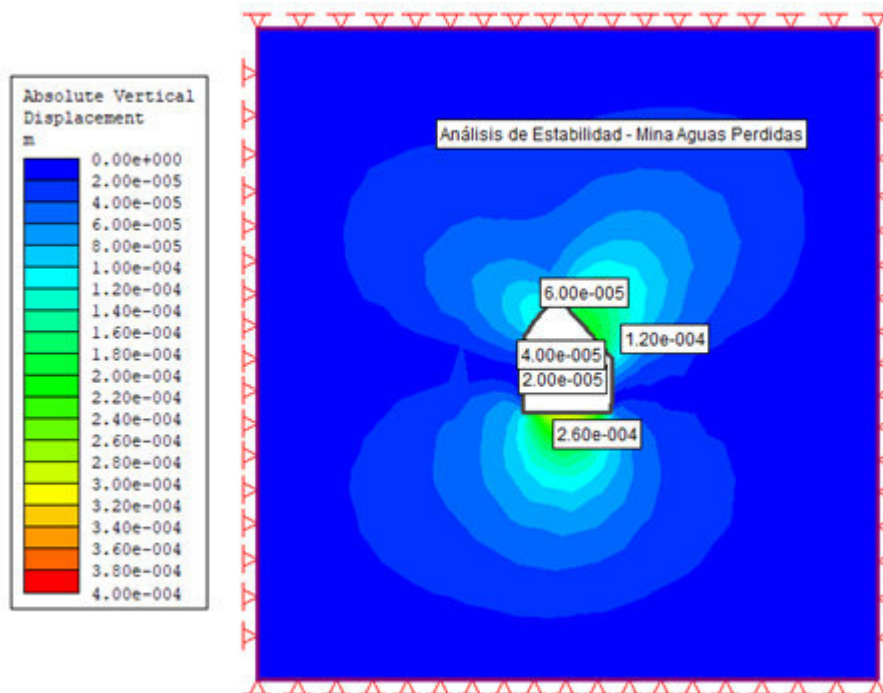
### 12.6.3.1 Análisis en condiciones estáticas

Análisis del desplazamiento horizontal en la sección idealizada de la mina Aguas Perdidas.



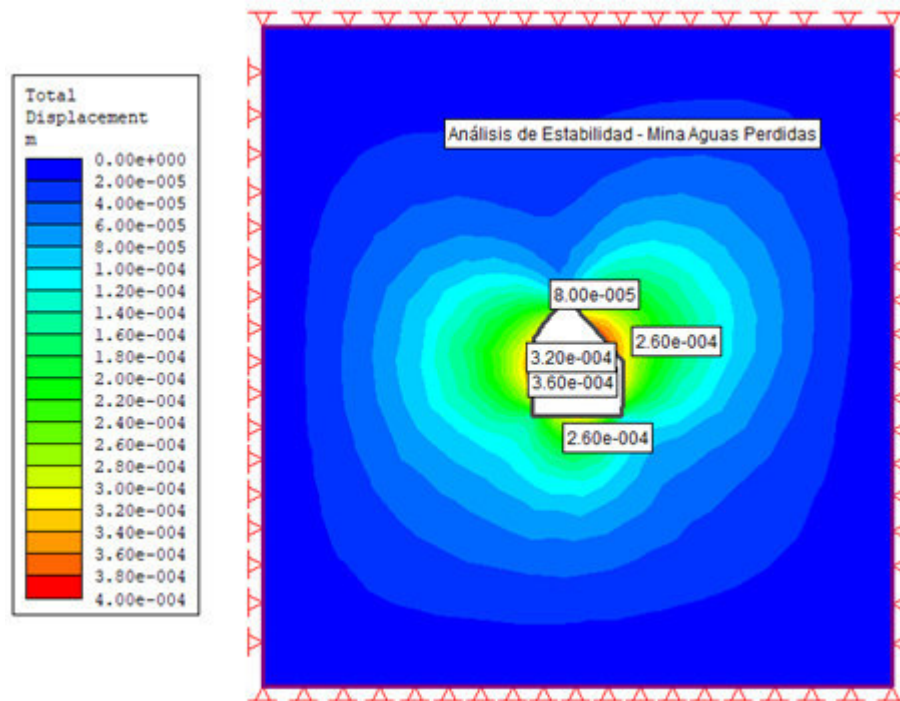
**Imagen 23:** se observa de manera esquemática la estabilidad de la labor y se observa los desplazamientos horizontales teóricos en mina Aguas Perdidas.

Ahora se muestra el análisis del desplazamiento vertical en la misma sección idealizada.



**Imagen 24**  
muestra los  
desplazami  
entos  
verticales  
en mina  
Aguas  
Perdidas.

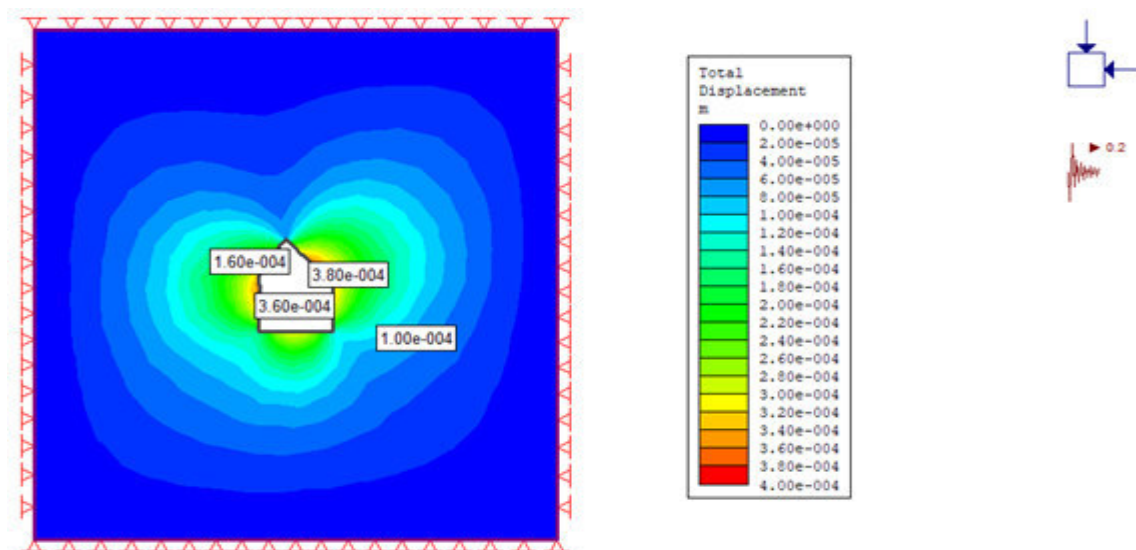
Por último, el análisis de estabilidad en condiciones estáticas del desplazamiento total en la sección idealizada de la mina Aguas Perdidas.



*Imagen 25: se observan los desplazamientos totales en mina Aguas Perdidas*

### 12.6.3.2 Análisis de estabilidad de labores en condiciones pseudoestáticas

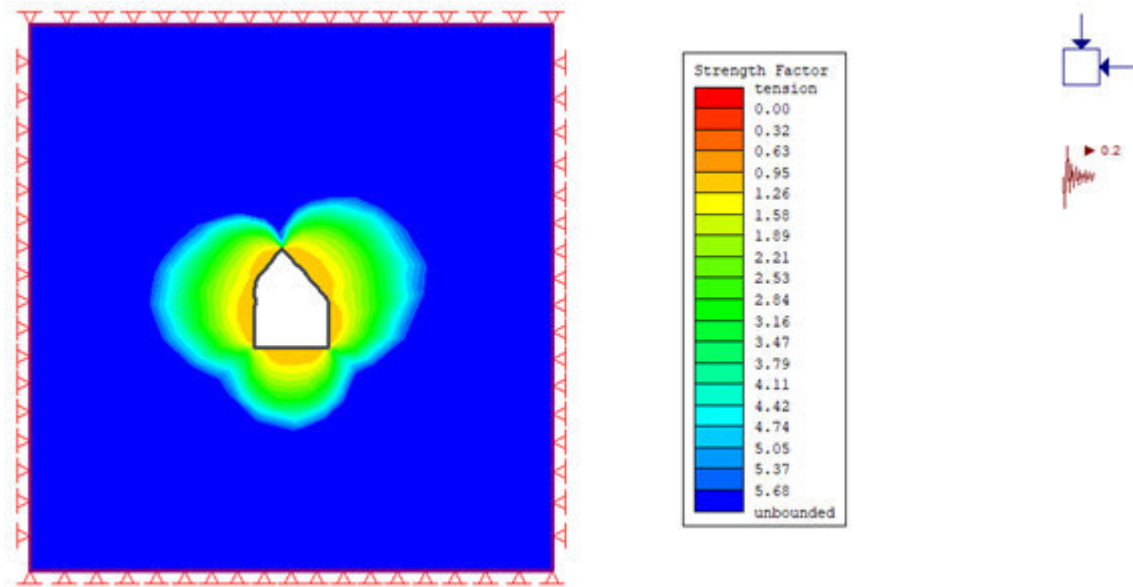
Como ya vimos en el apartado anterior el trabajo tanto para desplazamientos horizontales como verticales de una labor en condiciones estáticas ahora se muestra de manera directa el análisis de estabilidad en condiciones pseudoestáticas del desplazamiento total en la sección idealizada de la mina Aguas Perdidas.



*Imagen 26: estabilidad de labor en condiciones pseudoestáticas en Aguas Perdidas.*



Una vez definido el modelo de estabilidad en condiciones pseudoestáticas se realiza un análisis del factor de seguridad del mismo.



**Imagen 27:** se muestra el factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas de labor en mina Aguas Perdidas. (Fuente: *Elaboración Propia*)

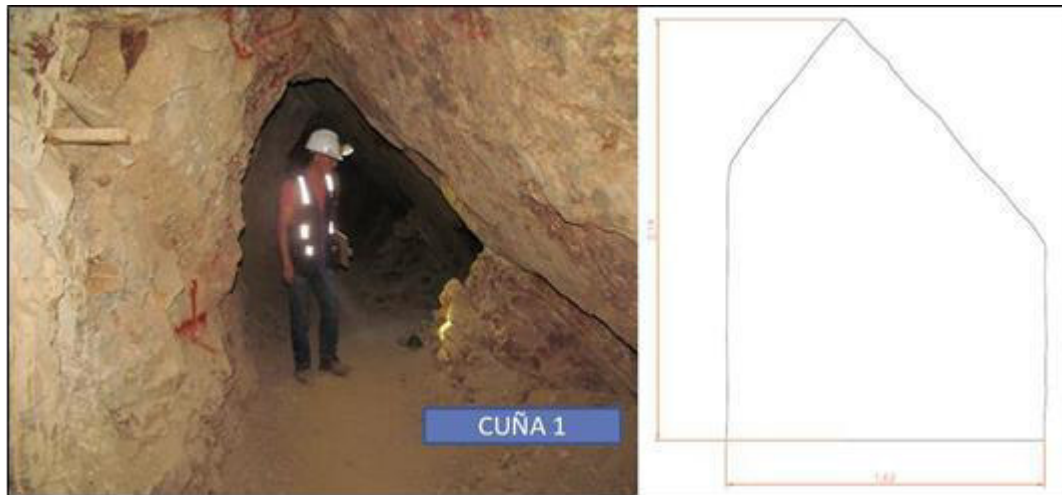
## 12.7 Análisis estructural y determinación de sostenimiento alternativo

### 12.7.1 Análisis estructural basado en observación de cuñas

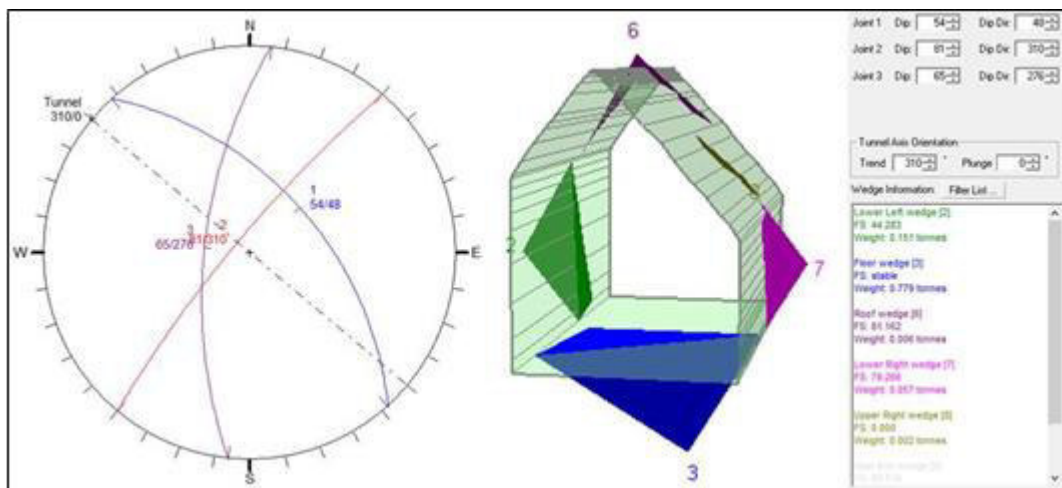
En esta sección se muestran las posibles cuñas que se generarían durante la excavación del túnel en cada una de sus secciones. Para esto se utilizó el programa de computación UNWEDGE 3.0, el cual emplea como datos de entrada la orientación de las discontinuidades en el macizo rocoso y la orientación del eje del túnel, para generar a través de la intersección de estos planos las posibles cuñas dentro de la excavación. A continuación, se detallan las cuñas formadas de zonas puntuales establecidas para su evaluación:

#### 12.7.1.1 Análisis de Cuña N°1

Los datos de las estaciones geomecánicas nos muestra cuñas que son estables por la configuración de la orientación de las discontinuidades, en este caso las cuñas forman el efecto arco. Sabemos que este efecto causa que los bloques que conforman este arco tienen a dirigir sus cargas hacia el centro de esta forma (hablando del arco) por lo que posee mayor capacidad de poder soportar cargas verticales y direccionadas con componente vertical.



**Fotografía 32:** se observa al lado izquierdo la labor donde se levantó la estación geomecánica y al lado derecho el trazo de la misma sección. (Fuente: Propia)

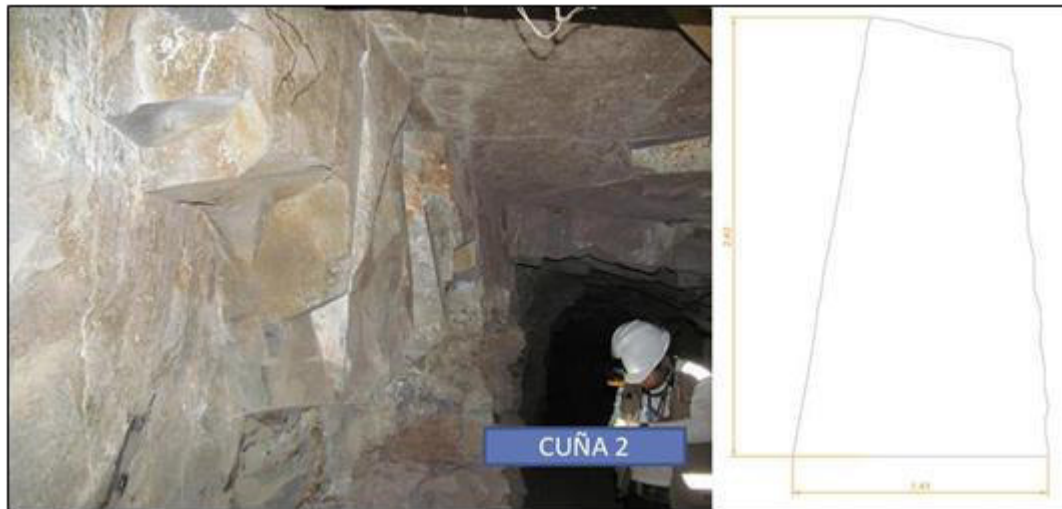


**Imagen 28:** se observa el modelamiento de cuñas en la sección a partir de las discontinuidades expresadas en un estereograma de los datos obtenidos en campo. Claramente puede observarse el efecto arco en la bóveda de la labor minera. (Fuente: Elaboración Propia).

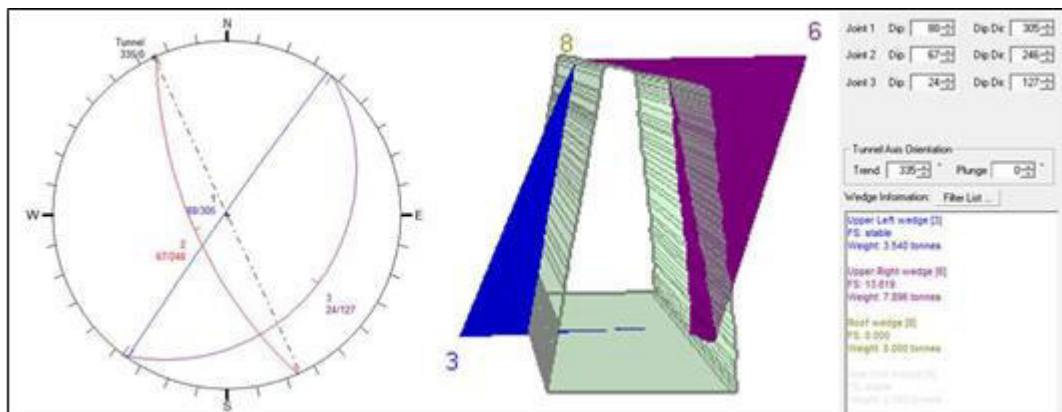
#### 12.7.1.2 Análisis de cuña N°2

Los datos de las estaciones geomecánicas nos muestra cuñas que son estables por la configuración de la orientación de las discontinuidades, en este caso las cuñas forman un pilar. Los bloques que se observan se encuentran unidos al hastial siendo parte de una misma estructura, la roca también se encuentra silicificada por lo que se observó en campo así estimando una adherencia al estrato.





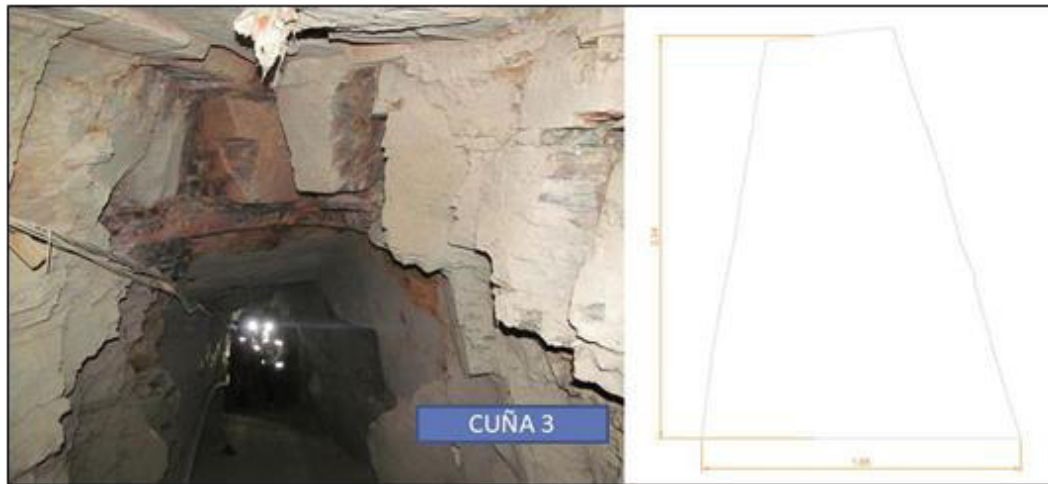
**Fotografía 33:** se muestra la cuña N°2 y su respectivo trazo.



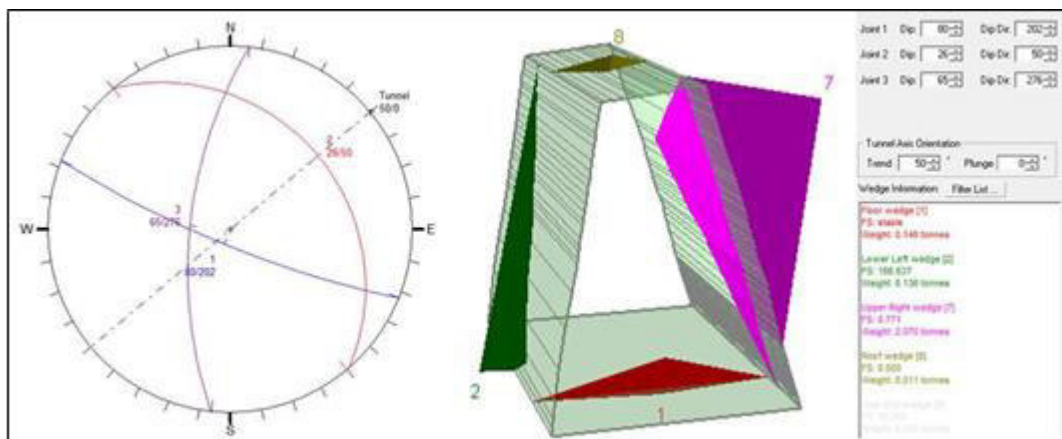
**Imagen 29:** se observa al lado derecho las cuñas que se forman hacia los hastiales comprometiendo parte de la bóveda, sin embargo, obsérvese la roca competente y silicificada de la fotografía anterior que mostraría si estabilidad en contraste con el modelo dado por el software.

### 12.7.1.3 Análisis de cuña N° 3

Este caso es similar al primer análisis visto. De las estaciones geomecánicas se muestra cuñas que son estables por la configuración de la orientación de las discontinuidades, en este caso las cuñas forman el efecto arco.



**Fotografía 34:** se observa la cuña N°3 y su respectivo trazo a la derecha.



**Imagen 30:** véase claramente las cuñas de la labor en el software, la cuña de la bóveda representaría un verdadero peligro en caso no estuviese muy bien soldada al macizo. La labor es estable.

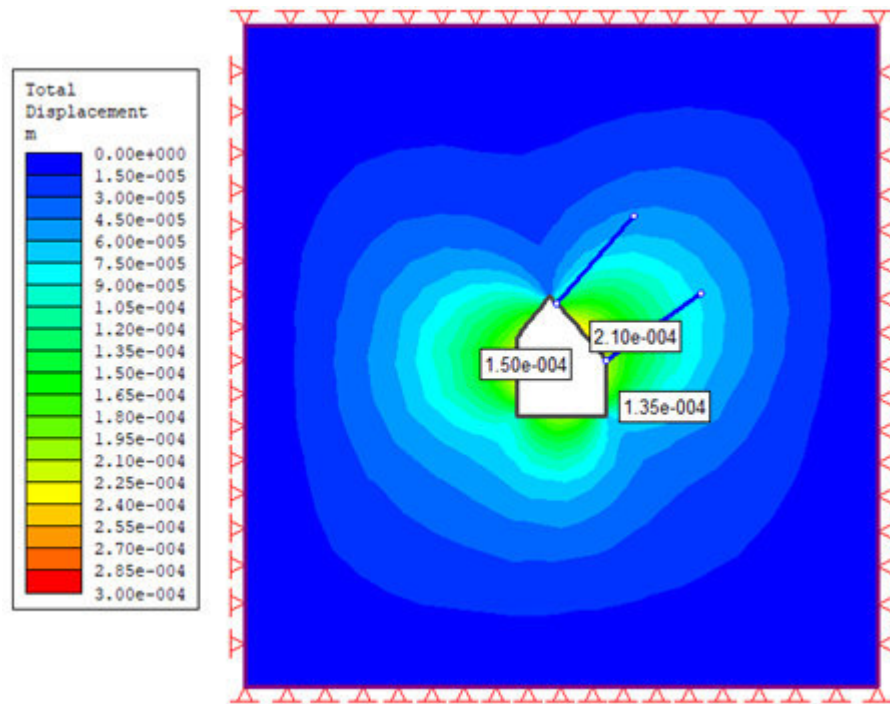
## 12.8 Cálculo y determinación de sostenimiento alternativo

Ha sido efectuado en base a los registros de las discontinuidades ubicadas en las estaciones Geomecánicas y resultados de ensayos de laboratorio, ejecutadas con el objetivo de evaluarse las condiciones geomecánicas que presentará el macizo rocoso de los túneles. Además de que ciertas muestras extraídas fueron sometidas a ensayos de laboratorio de Mecánica de rocas, lo que permitirá determinar las cantidades y calidad de soporte que necesita la excavación del túnel.

### 12.8.1 Análisis con sostenimiento

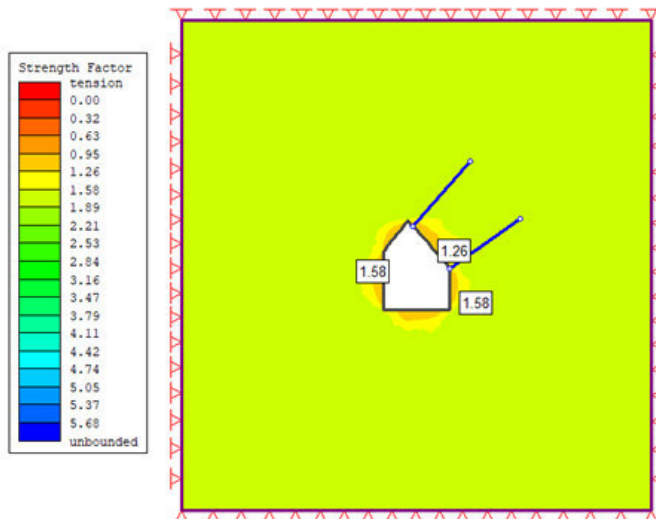
Para los análisis de estabilidad para mejorar las condiciones se debe instalar sostenimiento alternativo en el presente caso se modeló el sostenimiento con pernos.

### 12.8.1.1 Análisis de estabilidad del desplazamiento total en la sección idealizada de la mina Aguas Perdidas



**Imagen 31:** se observa el sostenimiento con pernos en condiciones estáticas- Mina Aguas perdidas

Análisis de estabilidad del factor de seguridad en la sección idealizada de la mina Aguas Perdidas.



**Imagen 32:** se observa los factores de seguridad en condiciones estáticas aceptables utilizando pernos de anclaje para.

## 12.9 Determinación del método de sostenimiento

### 12.9.1 Determinación del método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas

El avance de las labores de explotación en la mina Aguas Perdidas se desarrolla mediante un método clásico usado en la minería artesanal la cual consta básicamente de labores tales como el picado del mineral aflorante; una vez se realiza este picado a se expande el área libre de material en la sección donde se realiza la explotación del mineral, conforme se realiza el avance se coloca bases y soportes de madera conocidos como cuadros con los cuales se disminuye la probabilidad de caída de bloques de roca. En las labores inclinadas se colocan bases de madera con puntales de un diámetro considerable (entre 8-12 pulgadas de diámetro). En algunos sectores de mina no se observa un adecuado taponeado en el espacio comprendido entre la sección excavada y el cuadro realizado durante las labores de sostenimiento.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en las tablas de estaciones Geomecánicas del Anexo de estaciones geomecánicas tenemos los siguientes valores para el RMR, Q de Barton y GSI (*Geological Strength Index*) los cuales son mostrados en la siguiente tabla.

Estaciones	RMR	Q	GSI
E- 01	36	0.51	MF/R
E- 02	39	0.88	MF/R
E- 03	39	0.99	MF/P
E- 04	39	0.99	MF/P
E-05	46	1.61	F/R
E-06	41	1.17	MF/R
E-07	36	0.77	MF/R
E- 08	46	1.61	F/R
E- 01N	41	1.32	MF/P

De esta tabla se toma el Q de Barton obtenido en las distintas estaciones y calculamos la Máxima Apertura de Autosostenibilidad (MMA).

$$MMA = 2 \times ESR \times Q^{0.4}$$

Donde:

ESR: factor para excavación minera permanente

Q: es un sistema de calificación del macizo rocoso.

Calculamos la máxima apertura autosostenible de para la E- 01:

$$MMA = 2 \times 1.6 \times 0.51^{0.4} = 2.4 \text{ m}$$

tener en cuenta (ESR= 1.6 para labores permanentes y 3 para temporales).

Recalcando los valores calculados de la tabla 29 en las demás estaciones de MMA en la siguiente tabla:

Estaciones Geomecánicas	Máxima Apertura Autosostenible MMA
E- 01	4.60m
E- 02	5.70m
E- 03	3.18m
E- 04	3.18m
E- 05	3.87m
E- 06	3.40m
E- 07	5.40m
E- 08	3.87m
E- 01N	3.57m

Tabla de valores obtenidos de MMA

Los valores obtenidos en la siguiente tabla muestran que las dimensiones de secciones de las labores en interior mina se encuentran dentro de las distancias permisibles ya que ninguna de estas labores supera los 2.5m de longitud tanto en la vertical como en la horizontal así mejorando la perspectiva en la determinación del sostenimiento de las labores en interior mina. La estabilidad de la roca de la cual se habla en este caso es en condiciones naturales de la roca, referido al estado tensional al que se encuentra la roca antes de la voladura.

Cuando ocurre la voladura en interior mina se espera sobreexcavaciones de hasta 0.3m como máximo por sección en las distintas labores de la mina Aguas Perdidas, con esto tenemos según las “secciones tipo” vistas (fotografías 16, 17 y 18) tendríamos excavaciones menores a 3m, pudiendo llegar a valores aproximados de 2.7m estando dentro del rango permitido excavaciones autosostenibles (MMA) calculadas anteriormente. Aun teniendo en consideración los cálculos anteriores debemos asumir en todo momento la calidad de roca de la mina Aguas Perdidas tal como es una roca fracturada o muy fracturada con lo que se hace necesario plantear el método de sostenimiento recomendado a continuación:

El método de sostenimiento recomendado para este contexto es el de concreto lanzado o gunitado en combinación con mallas metálicas sostenidas con pernos de anclaje no tensados espaciados cada metro tanto en bóveda como en los hastiales.

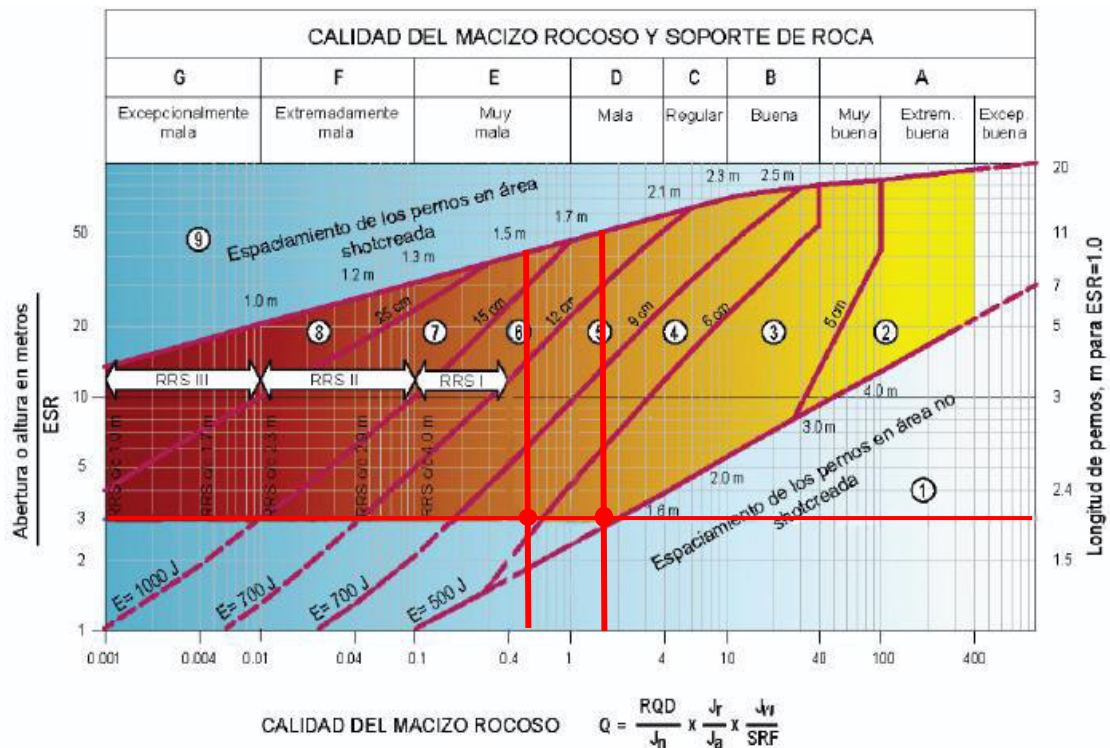
De acuerdo al modelamiento con inserción de pernos de anclaje y muestra de los factores de seguridad promedio de 1.3 y en casos más favorables de 1.5 muestran viabilidad de aplicación del método de sostenimiento. El empernado debe ser colocado con la finalidad



de quedar permanentemente por tener un  $F.S > 1.2$ . En cuanto al espaciado de pernos de anclaje este se calcula mediante:

### Abertura o altura en metros de la sección/ ESR

una altura máxima observada en labores de  $2.34/1.6 = 1.4$  en correlación a un tipo de roca muy mala para aumentar el F.S un espaciado de 1.5m para Q de 0.5 y 1.7m para Q de 1.6 según tabla de Calidad del Macizo Rocoso y Soporte de Roca.



**Imagen 33:** ábaco para el espaciado de pernos de anclaje

Los pernos a utilizar serán Split sets por el bajo costo, fácil colocación y efectividad para las dimensiones de las labores en la mina Aguas Perdidas. En cuanto al concreto lanzado la referencia es de 6 a 9 cm de espesor para garantizar un buen sostenimiento en la mina Aguas Perdidas.

### 12.9.2 Determinación de los métodos de explotación alternativos

Se realizó el cartografiado Geomecánico en zonas consideradas representativas, 6 estaciones del Nivel 1820 en la galería de acceso en la cual se encuentran emplazadas las labores ya explotadas y 2 estaciones en la Galería Gloria que corresponde a un nivel inferior cuyo acceso principal fue por el inclinado Charapa.

En base a la información de las evaluaciones de campo, de las mediciones realizadas y de la apreciación directa del yacimiento se han identificado las siguientes características geomecánicas de la Mina Aguas Perdidas:

#### **Del yacimiento:**

Forma	Planar	
Espesor	Baja	0 a 10 metros
Inclinación	Medio	20° a 55° de inclinación
Distribución de leyes	Gradacional	

#### **Del mineral:**

Resistencia de roca	Baja	< 5 (Rc/Sv)
Espaciamiento de fracturas	Muy cercana	>> 16f/m
Resistencia de Estructuras	Media	relleno semiduro, rugoso

Recuérdese:

Rc: resistencia de la roca Sv: fuerza vertical de la masa rocosa sobrepuesta a la labor f/m: fracturas por metro

#### **De la caja techo:**

Competencia de la roca	Mediana	8 a 15 (Rc/Sv)
Espaciamiento de fracturas	Poco espaciadas	10 a 15 f/m
Resistencia de fracturas	Baja	relleno suave

#### **De la caja Piso:**

Competencia de la roca	Mediana	8 a 15 (Rc/Sv)
Espaciamiento de fracturas	Poco espaciadas	10 a 15 f/m
Resistencia de fracturas	Baja	relleno suave

La información presentada nos da una idea del comportamiento mecánico de la roca caja en la mina Aguas Perdidas, con estos datos podemos aplicar la metodología de “Nicholas” a fin de tener alternativas de métodos de minado en función a dichas características.



### 12.9.3 Aplicación del método de Nicholas

En la aplicación del presente método a fin de determinar las alternativas del método de minado se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

Yacimiento			
Geometría			
Masivo	Yacimiento masivo		
Tabular	2 dimensiones mayor a su potencia		
Irregular	Cuerpo irregular		
Potencia (m)	min	máx	
Angosto	0	1	
Intermedio	1	3	
Ancho	3	100	
Muy ancho	1	10	
Manteo (inclinación )	min	máx	
Horizontal	0	2	
Intermedio	2	5	
Vertical	5	9	
Dist. Leyes			
Uniforme			
Gradacional			
Diseminado			

**Tabla 29:** parámetros del yacimiento

Características Geomecánicas			
Roca Intacta (Rc/Sv)	m	m	
Baja	0	8	
Mediana	8	1	
Alta	1	10	
Espaciamiento estructuras (f/m)			
muy cercanas	1	10	
poco espac.	1	1	
Espaciadas	3	1	
muy espaciadas	0	3	
Condición estructuras			
Baja	sin relleno y/o relleno suave		
Mediana	relleno semiduro/rugosas		
Alta	relleno mineral > competente que roca intacta		

**Tabla 30:** parámetros geomecánicos

Los factores de peso cuya ponderación se considera para cada aspecto evaluado se indican en el cuadro siguiente:

Geometría del Yacimiento	1
Condiciones geomecánicas del mineral	0.7
Condiciones geomecánicas de la caja techo	0.6
Condiciones geomecánicas de la caja piso	0.3

**Tabla 31:** factores de peso

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar el Método Cuantitativo de Nicholas para las características de la mina Aguas Perdidas:

YACIMIENTO	Forma General del Yacimiento	Potencia del Yacimiento	Orientación	Distribución de las Leyes	PESO
Método Explotación	Tabular/platy	Baja potencia	Intermedio	Gradaciona	1
Rajo Abierto	2	2	3	3	1
Block Caving	2	-49	2	2	-
Sublevel Stopping	2	1	1	3	7
Sublevel Caving	4	-49	1	2	-
Longwall mining	4	4	0	2	1
Room and Pillar	4	4	1	3	1
Shrinkage Stopping	2	1	1	2	6
Cut and Fill Stopping	4	4	3	3	1
Top Slicing	3	-49	1	2	-
Square Set	2	4	3	3	1

**Tabla 32:** correlación de los parámetros observados al método de Nicholas para determinar el método de explotación más óptimo. Esta valoración se logra de acuerdo a las características del yacimiento.

MINERAL	Competencia Roca Intacta	Espaciamiento Fracturas	Resistencia	PESO
Método Explotación	Baja	Muy Cercanas	Mediana	0.75
Rajo Abierto	3	2	3	6
Block Caving	4	4	3	8
Sublevel Stopping	-49	0	2	-35.25
Sublevel Caving	0	0	2	1
Longwall mining	4	4	3	8
Room and Pillar	0	0	2	1
Shrinkage Stopping	1	0	2	2
Cut and Fill Stopping	3	3	3	6
Top Slicing	2	1	2	3
Square Set	4	4	3	8

**Tabla 33:** correlación de los parámetros observados al método de Nicholas para determinar el método de explotación más óptimo. Esta valoración se logra de acuerdo a las características del mineral.

CAJA TECHO	Competencia Roca Intacta	Espaciamiento Fracturas	Resistencia Estructuras	PESO
Método	Mediana	Poco	Baja	0.6
Rajo Abierto	4	3	2	5
Block Caving	2	4	4	6
Sublevel Stopping	3	0	0	1
Sublevel Caving	2	4	4	6
Longwall mining	2	4	4	6
Room and Pillar	3	1	0	2
Shrinkage Stopping	2	4	4	6
Cut and Fill	2	3	4	5
Top Slicing	2	3	4	5
Square Set	2	3	4	5

**Tabla 34:** correlación de los parámetros observados al método de Nicholas para determinar el método de explotación más óptimo. Esta valoración se logra de acuerdo a las características de la caja techo.

CAJA PISO	Competencia Roca Intacta	Espaciamiento Fracturas	Resistencia Estructuras	PESO
Método Explotación	Mediana	Poco Espaciadas	Baja	0.38
Rajo Abierto	4	3	2	3.
Block Caving	3	3	1	2.
Sublevel Stopping	2	0	0	0.
Sublevel Caving	2	1	0	1.
Longwall mining	3	2	1	2.
Room and Pillar	2	1	0	1.
Shrinkage Stopping	3	3	2	3.
Cut and Fill Stopping	2	4	4	3
Top Slicing	3	3	1	2.
Square Set	2	4	4	3

**Tabla 35:** correlación de los parámetros observados al método de Nicholas para sugerir el método de explotación más óptimo. Esta valoración se logra de acuerdo a las características de la roca caja piso.

Reemplazando los valores se determina el mejor método de acuerdo al comportamiento mecánico de la roca es el Cut and Fill Stopping (Corte y Relleno) con 29.95 puntos, seguido por el Square Set (Minado Cuadro Sobre Cuadros) con 29.45 puntos y como tercera opción Longwall Mining (Minado por Paredes Largas) con 26.53 puntos.

Método de Explotación	Yacimiento	Mineral	Caja techo	Caja Piso	Total	Escala
Rajo Abierto	10	6	5.4	3.42	<b>24.82</b>	24.82
Block Caving	-43	8.25	6	2.66	<b>-26.09</b>	-26.09
Sublevel Stopping	7	-35.25	1.8	0.76	<b>-25.69</b>	-25.69
Sublevel Caving	-42	1.5	6	1.14	<b>-33.36</b>	-33.36
Longwall mining	10	8.25	6	2.28	<b>26.53</b>	26.53
Room and Pillar	12	1.5	2.4	1.14	<b>17.04</b>	17.04
Shrinkage Stopping	6	2.25	6	3.04	<b>17.29</b>	17.29
Cut and Fill Stopping	14	6.75	5.4	3.8	<b>29.95</b>	29.95
Top Slicing	-43	3.75	5.4	2.66	<b>-31.19</b>	-31.19
Square Set	12	8.25	5.4	3.8	<b>29.45</b>	29.45

**Tabla 36:** resumen de métodos de explotación

La metodología de extracción por corte y relleno convencional debe ser adaptado a las condiciones del yacimiento, al tener la limitante de la potencia de la mineralización y que la explotación será realizada a baja escala, por lo tanto, si se quiere aplicar este método se deberá realizar innovaciones al método.

#### **12.9.4 Método de Explotación Alternativo – Corte y Relleno**

Considerando el análisis y determinación del método de explotación por la metodología de Nicholas, se tiene que el método alternativo para las condiciones geomecánicas de la mina Aguas Perdidas es el Corte y Relleno.

La mineralización de la mina Aguas Perdidas se encuentra emplazada en vetas angostas, con leyes variables que tienden a ser gradacionales sin embargo se debe ahondar en evaluaciones desde una perspectiva económica a fin de determinar la validez de esta afirmación, tomando en cuenta lo manifestado la explotación de la mineralización debe ser selectiva debido a la baja potencia de las vetas y al tener leyes discontinuas, por tanto una alternativa de minado sería la explotación mediante Corte y Relleno con Circado en forma ascendente sistema que permite extraer de manera selectiva las zonas de interés económico.

La metodología de extracción conocida como corte y relleno, también conocida como “Over Cut and Fill” del inglés se realiza explotado la parte inferior mineralizada, siendo rellenada posteriormente y así avanzando hacia arriba durante el desarrollo del método.

El método de circado como método más selectivo sigue la secuencia de determinación de la zona más mineralizada, perforación, cargado de explosivos, voladura y acarreo del

material como caja piso (para estructura vetiforme volcada) y extracción de la roca del lado adyacente (para vetas de alto buzamiento).

#### **12.9.5 Diseño**

Se puede aplicar en yacimientos:

- a. Para buzamientos entre 25 a 90°
- b. Para cualquier tipo de depósito.
- c. Para roca caja medianamente competente.
- d. Para roca caja de pueda ser irregular e incompetente.
- e. Mineral que tenga una buena ley.
- f. Material de relleno disponible.

#### **12.9.6 Desarrollo:**

- a. Se realiza una galería como una de las labores principales destinada al transporte del material.
- b. Los cruceros y chimeneas deben realizarse a la distancia adecuada.
- c. El espacio de trabajo debe estar de preferencia entre los 5 y 10 m sobre la galería de transporte.
- d. La construcción debe realizarse de preferencia para chimeneas de abajo hacia arriba.

#### **12.9.7 Preparación:**

- a. Hay que tener una buena concepción sobre cómo se va a explotar para una buena ejecución. Estos trabajos son el punto de quiebre para destinar una explotación eficiente.
- b. Los costos de esta fase de trabajos tienen considerable incidencia en los costos totales.

Ahora, para las posibles disposiciones de trabajos en las galerías podemos plantear:

- Una sola galería sobre veta.
- Una paralela fuera de la veta y sus cortes.
- Una paralela y otra auxiliar en el mineral.

#### **12.9.8 Galería principal**

La galería es complicada de diseñarse en términos de su ubicación. Se recomienda que para espesores menores o iguales a seis metros la galería base. La galería base se orienta de acuerdo a la estructura mineralizada hacia niveles intermedios.

En el caso que el espesor de la veta sea mayor a siete metros, la galería puede hacerse de manera que sean dos, a su vez deben estar conectadas. La razón por la que estas galerías

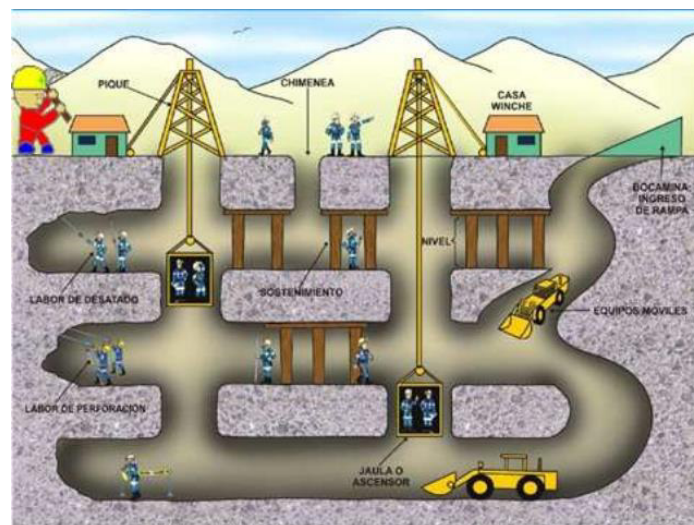
se encuentran de la manera expuesta anteriormente se debe a que debe cumplir las funciones de:

- Acarreo del mineral.
- Conducto de drenaje.
- Vía para el transporte del personal.
- Alberga las conexiones de agua y la ventilación.

### **12.9.9 Echadero**

La técnica de construcción de estas como labores con forma de tolva es variable. Son simples en vetas angostas o cuando el tonelaje a extraer es bajo. Su construcción es compleja en filones con mayor potencia y a mayor tonelaje de producción.

Este proceso se puede dar de manera manual o mecánica ya sea mediante el uso de tolvas hidráulicas.



**Imagen 34:** se muestra un esquema de explotación minera subterránea.

### **12.9.10 Labores de explotación**

#### **12.9.10.1 Perforación y disparo**

Para el caso de la voladura y acarreo de manera horizontal no se ven las dificultades de apoyo de la maquinaria, de rendimiento y el uso de explosivos se hace más efectivo. Para el caso de labores sub verticales a verticales se tiene dificultad en el apoyo de la maquinaria sobre la superficie así disminuyendo el rendimiento por metro barrenado.

Como principal inconveniente se tendría que durante la voladura se tenga una superficie superior escarpada lo que complica la labor en el techo volviéndose en un potencial peligro para el operador el operador de la maquinaria.

Para el diseño de la malla de perforación realizada por el ingeniero de minas se tienen en cuenta parámetros tales como el grado de fragmentación, la densidad de carga para explosivos, etc.

#### ***12.9.10.2 Acarreo de material***

El transporte en el tajeo de método del corte y relleno es una de las operaciones unitarias más importantes. La forma del tajeo condiciona la limpieza que de hecho conforma dos operaciones, acarreo y transporte. En general las distancias son de acuerdo al radio de rendimiento de cada equipo de acarreo y transporte, el equipo de carguío es al mismo tiempo el que realiza el transporte en muchas minas. Solamente en el caso de vetas angostas (tajeos largos), se puede contemplar 2 equipos distintos.

#### ***12.9.10.3 Carguío de Mineral***

El mineral arrancado debe ser extraído totalmente y en forma regular del tajeo. Esta evacuación se puede realizar de diferentes maneras:

- Con pala a mano: Ya sea tirando directamente el mineral en “ore pass”, y/o echaderos simples de evacuación, o llenando carros que se vacían en dichos echaderos.
- Con scraper o rastrillo: Existen varias posibilidades de instalación. Una de ellas consiste en instalar todo el conjunto en el Tajeo mismo, con el riesgo de exponerlo a los disparos y derrumbes del techo, además de la pérdida de tiempo que significa cambiarlo de piso cada vez que se termina de explotar una tajada.

Otra posibilidad sería instalar el huinche con su motor en la galería base o en la galería superior. En este caso los cables subirían o bajarían por una chimenea y el huinche se manejaría por control remoto. El inconveniente de esta alternativa es que la instalación del huinche en la galería base, por lo tanto, los cables se deben correr por una chimenea suplementaria.

#### ***12.9.11 Relleno***

Básicamente este tiene un sentido de tipo estructural que servirá de soporte en futuras labores de explotación. Otra de las funciones a resaltar es disminuir los efectos tales como hundimiento de las labores en general, nos da soporte ante presiones dirigidas que se dan en interior mina.



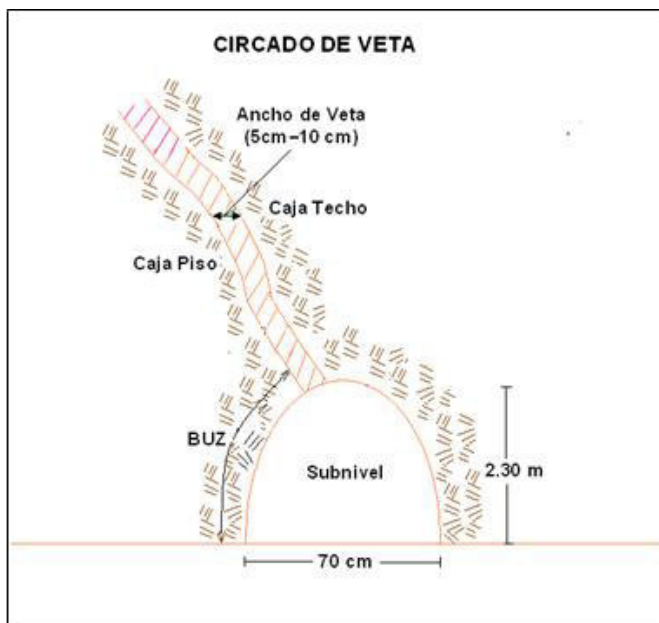
## Ventajas y desventajas del método de “Cut and Fill”

### Ventajas

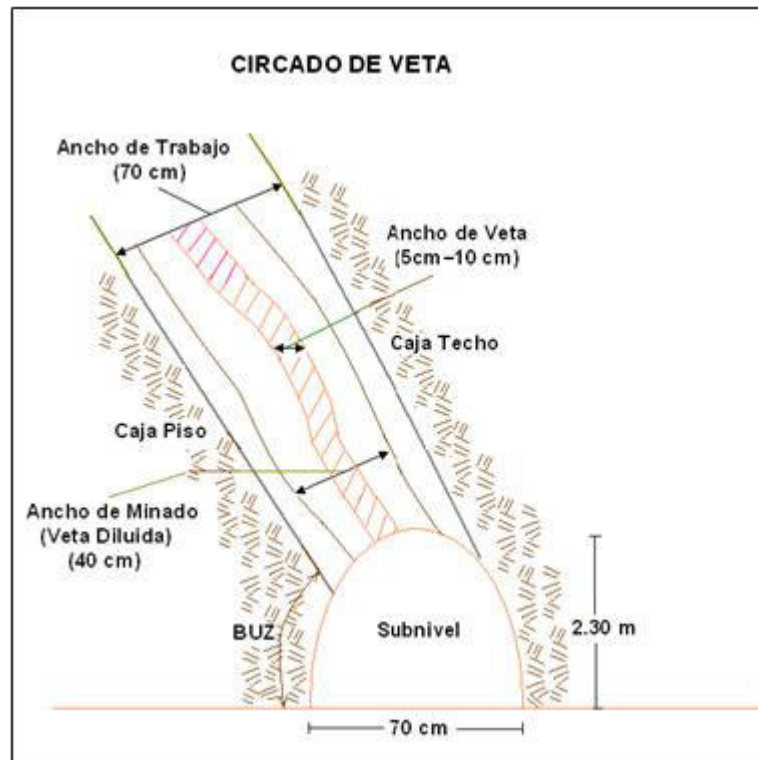
- Recuperación promedio del 90%
- La explotación es selectiva, así se garantiza mayores leyes durante este proceso.
- La producción se hace de manera más rápida
- Es versátil ya que para materiales incompetentes puede a no disminuir la velocidad de extracción.

### Desventajas

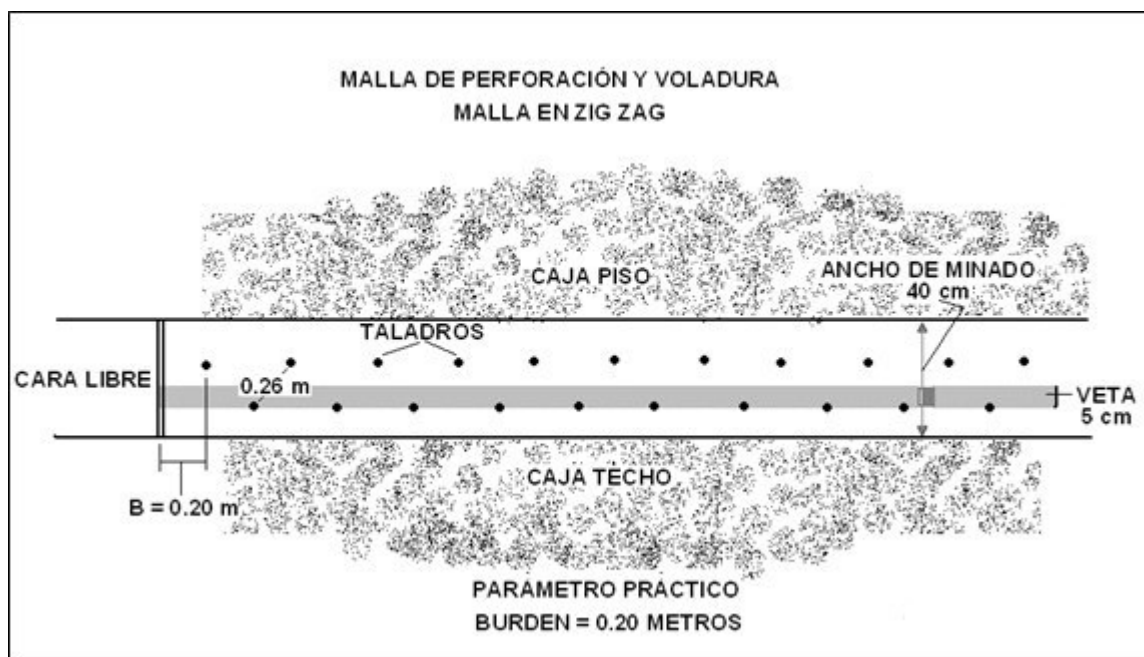
- Presenta un mayor costo de producción.
- El rendimiento es sensible a decaimiento durante la etapa de relleno ralentizándose el proceso.
- Requiere mejor planeamiento durante el sostenimiento.



**Imagen 35 :**  
se muestra  
el circado y  
ancho de  
veta.



*Imagen 36: se muestra circado de veta, ancho de veta y ancho de trabajo.*



*Imagen 37: diseño de malla de perforación con circado de veta.*

### ***13 Demostración de Hipótesis***

Teniendo en cuenta el análisis de estabilidad de excavaciones realizado, este sirve como un argumento adecuado en la determinación de zonas inestables dentro de la mina Aguas Perdidas.

En cuanto desplazamientos horizontales y verticales en relación al factor de seguridad obtenido con resultado de 1.5 usando como soporte pernos de anclaje aplicado en un modelo pseudoestático se verifica como adecuado.

En cuanto al modelamiento geomecánico realizado durante el desarrollo de la tesis se usaron los resultados de laboratorio con los que se llevó de manera exitosa en las labores en interior mina, de esta manera se ha mostrado la importancia del uso de los parámetros geomecánicos. Todos estos argumentos justifican el sostenimiento planteado en el apartado de determinación del método de sostenimiento por lo que se hace importante la compilación y uso de datos geomecánicos para la recomendación del método de sostenimiento en la mina Aguas Perdidas del distrito de Ocaña, Ayacucho.

## ***14 Conclusiones***

- Para determinar un método de sostenimiento es necesario observar la mayor cantidad de variables que pueda tenerse a disposición y elegir las principales que nos sirven de base para desarrollar un análisis de trabajo a realizar.
- Los parámetros base para la calificación de un macizo rocoso en cuanto a calidad son la orientación de las discontinuidades, espaciamiento, rugosidad, relleno, cantidad de agua en las estructuras, propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión simple y ángulo de fricción de la roca.
- No debe considerarse un solo sistema de calificación/clasificación del macizo rocoso para evaluar un macizo rocoso.
- La toma de datos de geomecánica debe ligarse al contexto geológico necesariamente para extrapolar el posible comportamiento del macizo rocoso en cuestión.
- El uso de software en geomecánica debe de estar basado en datos fidedignos y un argumento geológico para una adecuada interpretación de las estructuras, además del comportamiento del macizo rocoso.
- La microscopía es un apoyo muy importante para interpretar de manera más real los datos de propiedades intrínsecas de las rocas encontradas en el trabajo de mina.
- La Geología debe estar ligada al desarrollo de las labores mineras en todo momento. El geólogo geomecánico no debe dejar la base en Geología Estructural para poder desarrollar el trabajo de campo.

## ***15 Recomendaciones***

En caso de reinvertirse en la mina Aguas Perdidas se recomienda al dueño de la mina como método de sostenimiento el enmallado con pernos no tensados en zonas donde la alteración de roca es moderada y enmallado con pernos post tensados en combinación con hormigón proyectado. En caso de hacerse viable la entrada debe permitir la entrada de *Trackless*.

Durante el establecimiento del sostenimiento para labores tanto temporales como permanentes debe tenerse en cuenta el factor de carga de los explosivos a utilizarse durante la voladura para así calcular la fragmentación que pueda tener la roca y obtener valores de excavación o sobreexcavación para poder fijar de manera más precisa el sostenimiento requerido en la mina Aguas Perdidas. Se recomienda usar el método de Kuz- Ram ajustado al “n” de Rosin – Rambler que deben ser calculados por el ingeniero de minas.

Debe realizarse un cartografiado más descentralizado y no sólo a las estaciones geomecánicas establecidas, así debería extenderse a zonas donde la roca está más fresca para poder tener mayor cantidad de datos con lo que sería posible poder relacionar de mejor manera el análisis del comportamiento de macizo rocoso en la mina Aguas Perdidas de una manera más gradual en cuestión a la calidad del macizo rocoso.

Se recomienda también el muestreo por canales en las vetas para poder realizar un modelo geoestadístico en cuanto a las leyes de los minerales con lo el cual podrá hacerse un modelo de mineralización y geomecánico completo planteándose así labores de desarrollo de la mina Aguas Perdidas con lo cual pueda convertirse en una de mayor envergadura como una de tipo mediana minería.

## 16 Bibliografía

- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2004). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa Editores S.A.
- Castillo Aedo, J., & Alva Hurtado, J. (2003). *Peligro Sísmico en el Perú*. Lima.
- Colombia, U. N. (2013). Procesos magmáticos hidrotermales y sus procesos. Bogotá, Colombia.
- De la Vega Ortega, M. (2002). *Problemas de Ingeniería Puesta a tierra*. México DF, Ciudad de México, México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- de Matos Fernandes, M. (2011). *Mecanica dos Solos, Introdução a Engenharia Geotecnica*. Porto: FEUP Edições .
- Frankie. (diciembre de 2012). *Estudios Geotécnicos*. Obtenido de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-2-densidad-humedad-y-parametros-de-estado/>
- Fuentes Arderiu, X., Castiñeiras Lacambra, M., & Queraltó Compañó. (1997). *Bioquímica clínica y Patología molecular* (2da Edición ed., Vol. Volumen I). España: Editorial Reverté S.A.
- García. (1986). Dimensionamiento y sostenimiento de minas subterráneas de Pizarras. España.
- González Caballero, M. (2001). *El Terreno*. Barcelona: Ediciones UPC.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. (I. Capella, Ed.) Madrid, España: Pearson, Prentice Hall. Recuperado el jueves 21 de marzo de 2019
- Jimenez, E., & Benito, B. (2014). Peligrosidad sísmica. Madrid, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Klein, C., Cornelius, S., & Hulburt, J. (1997). *Manuel de Mineralogía* (Cuarta Edición ed.). New York, USA: Editorial Reverté, S.A.
- Maldonado, Y. (marzo de 2018). *Geologiaweb*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/tipos-de-rocas/ciclo-de-las-rocas/>
- Mena Hernández, U. (2002). Aspectos Generales del Riesgo Sísmico. España: Tesis Doctorals en Xarxa.
- Montoya, M., García, W., & Caldas, J. (1994). *Geología de los Cuadrángulos de Lomitas, Palpa, Nasca y Puquio*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Osinermin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima, Lima, Perú: Osinermin.
- Oviedo, U. d. (1999). *Trabajos de Geología*. Oviedo, España: Departamento de Geología, Facultad de Geología.
- Pardo Ferrer, L. (2014). *Prevención de caída de rocas como medida de seguridad en mina San Cristóbal*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Lima. Recuperado el 21 de marzo de marzo de 2019
- PARDO, F. (2014). *Prevención de caída de rocas como medida de seguridad en San Crstobal*. Lima, Lima, Perú: UNI.
- Perales Calderon, F. (1994). *Glosario y Tabla de Correlación de las unidades estratigráficas del Perú*. Lima.

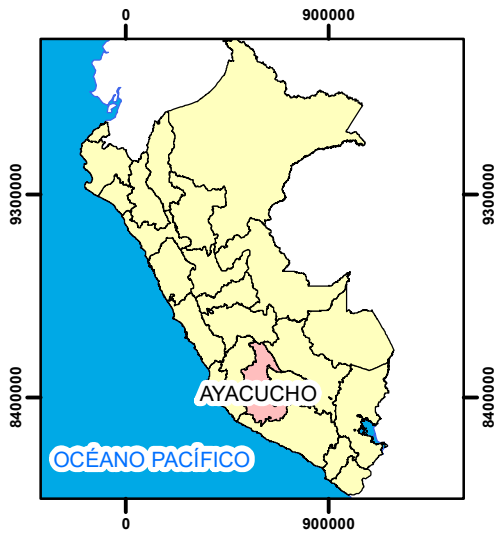
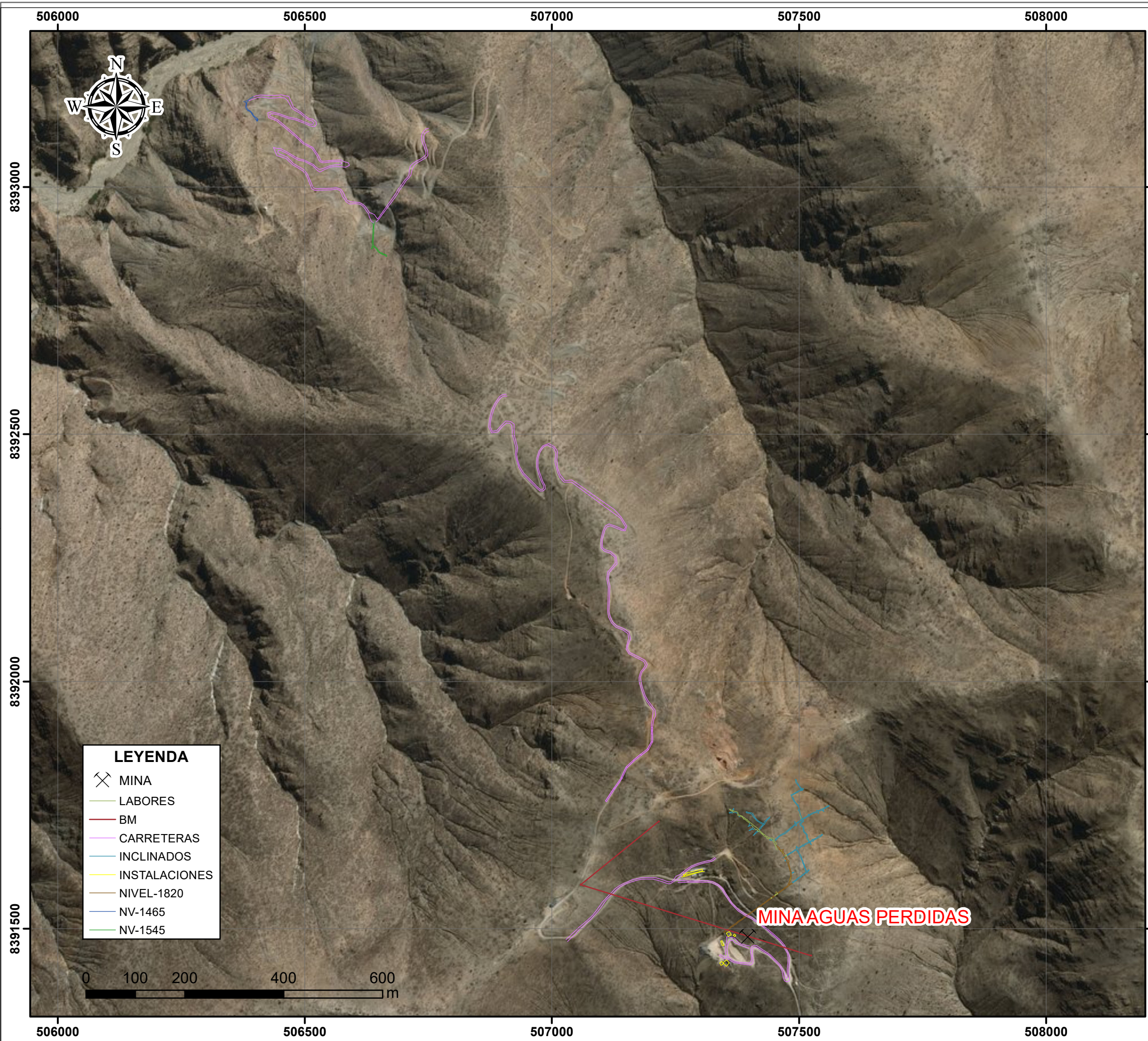
- Quecedo Gutierrez, I. (mayo de 2013). Estimación de la Peligrosidad Sísmica mediante Protocolos de Juicios Expertos. Madrid, Madrid, España: UPM.
- Reunión de ingenieros. (1975). *Mecánica de Suelos*. Barcelona: editores técnicos asociados s.a.
- SEDAPAR. (2017). *Análisis de Peligro Sísmico y Vulnerabilidad*. Arequipa, Arequipa. Recuperado el junio de 2019
- Sedapar, SISA. (2016). “ESTUDIO DEFINITIVO Y EXPEDIENTE TÉCNICO - AMPLIACIÓN, RENOVACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA LOCALIDAD DE CARAVELÍ- CARAVELI-AREQUIPA. Lima.
- Seguridad Minera. (2013). *Clasificación geomecánica de roca en mina subterránea*. Seguridad Minera Revista, Lima.
- TABOADA. (1994). Dimensionamiento y sostenimiento en minas de Pizarra. *Cuaderno Lab. Xenológico de Laxe*, 433. Recuperado el 1994
- TABOADA, & TABOADA. (1994). Dimensionamiento y sostenimiento en minas subterráneas de Pizarra. *Cuaderno Lab. Xenológico de Laxe*, 419-435.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en el Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- Tolentino, V., Espejo Monsalve, J. A., Condori Canto, W., & Arone Padilla, R. (2018). *Estudio Geomecánico de las minas Aguas Perdidas y Perricholi*. Lima.
- Valverde, J. (1998). *Riego y Drenaje*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia .
- Villegas Lanza, J., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., & Nocquet, J. (2016). Active Tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening acomodation. *AGU Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 7390.



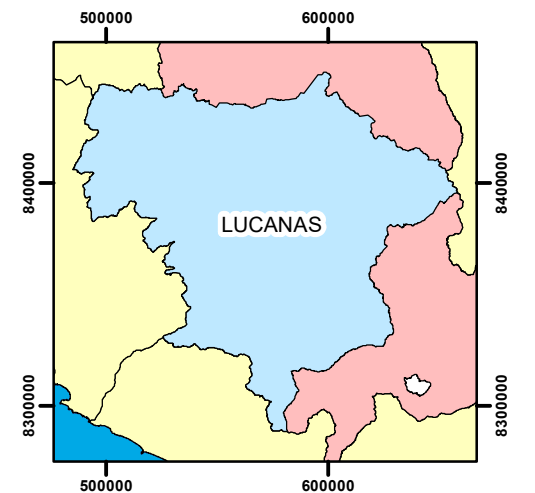
# *Anexos*

***Anexo I: Mapas de Ubicación y  
Mapas Geológicos***

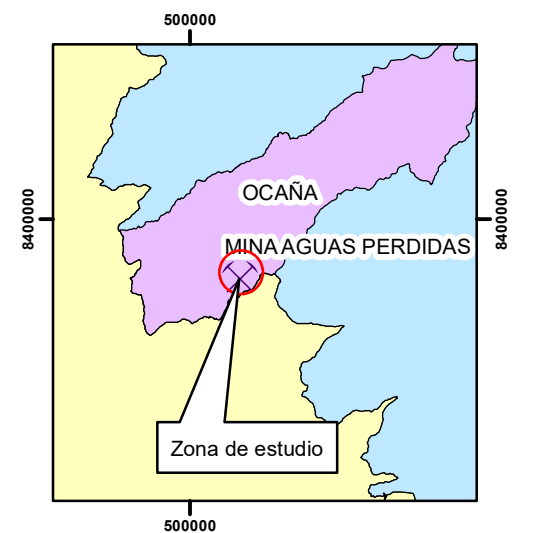




MAPA DEPARTAMENTAL



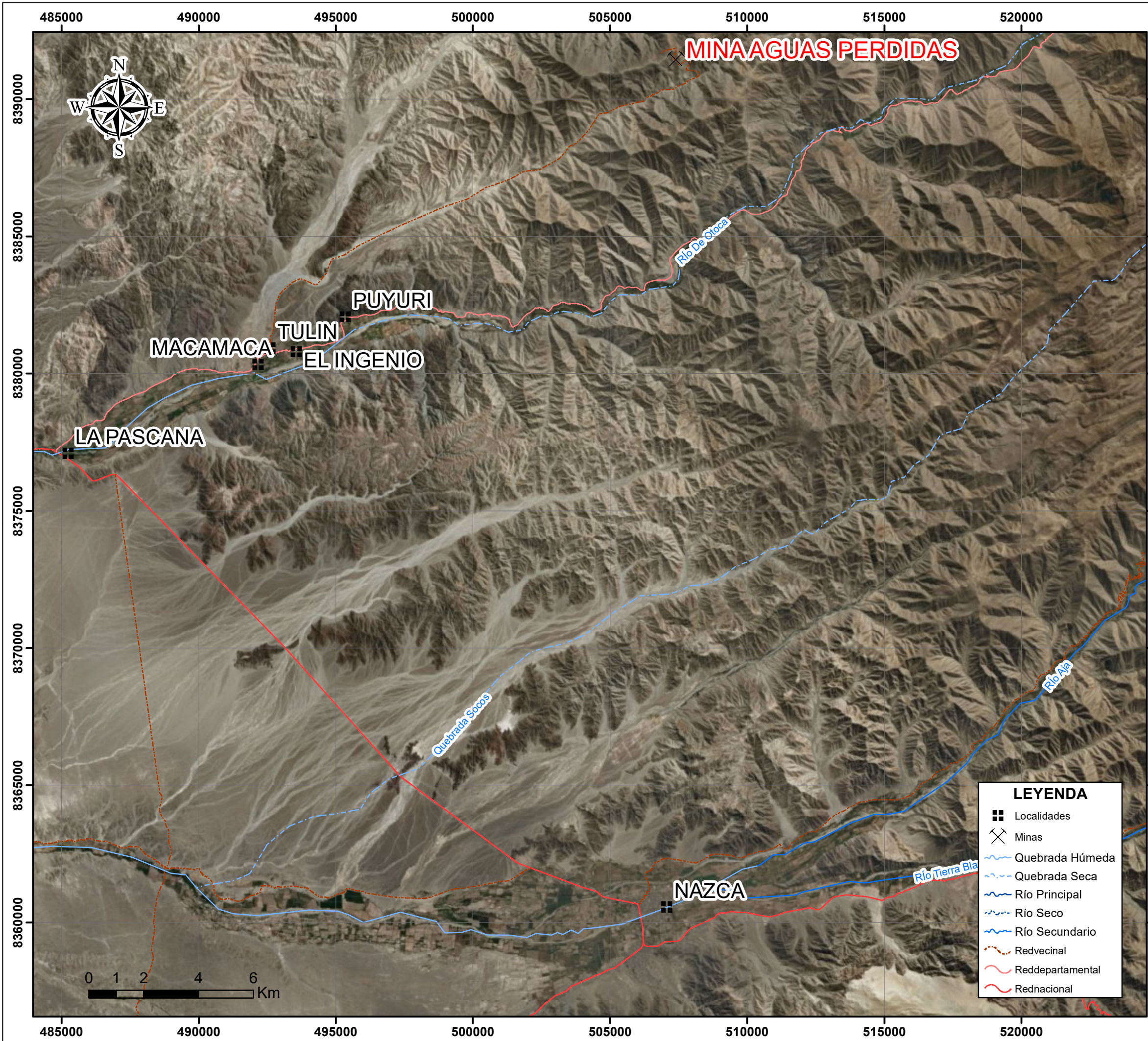
MAPA PROVINCIAL



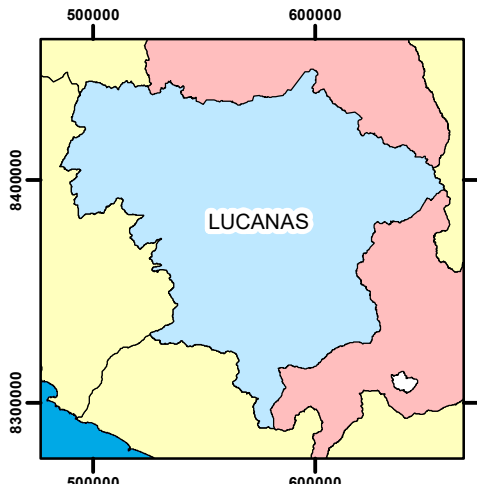
MAPA DISTRITAL

<b>DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO (Aporte)</b>		
<b>Estudio Geomecánico</b> Distrito de Ocaña, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho		
<b>UBICACIÓN</b>		
<b>Tesista:</b> Jorge Espejo Monsalve	<b>Ingeniero asesor:</b> Victor Tolentino Y.	
<b>Dibujante:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Escala:</b> 1/7,500	<b>PLANO:</b>
Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 18 S	<b>Formato:</b> A3	<b>Fecha:</b> junio del 2019
		<b>P - 01</b>






MAPA DEPARTAMENTAL

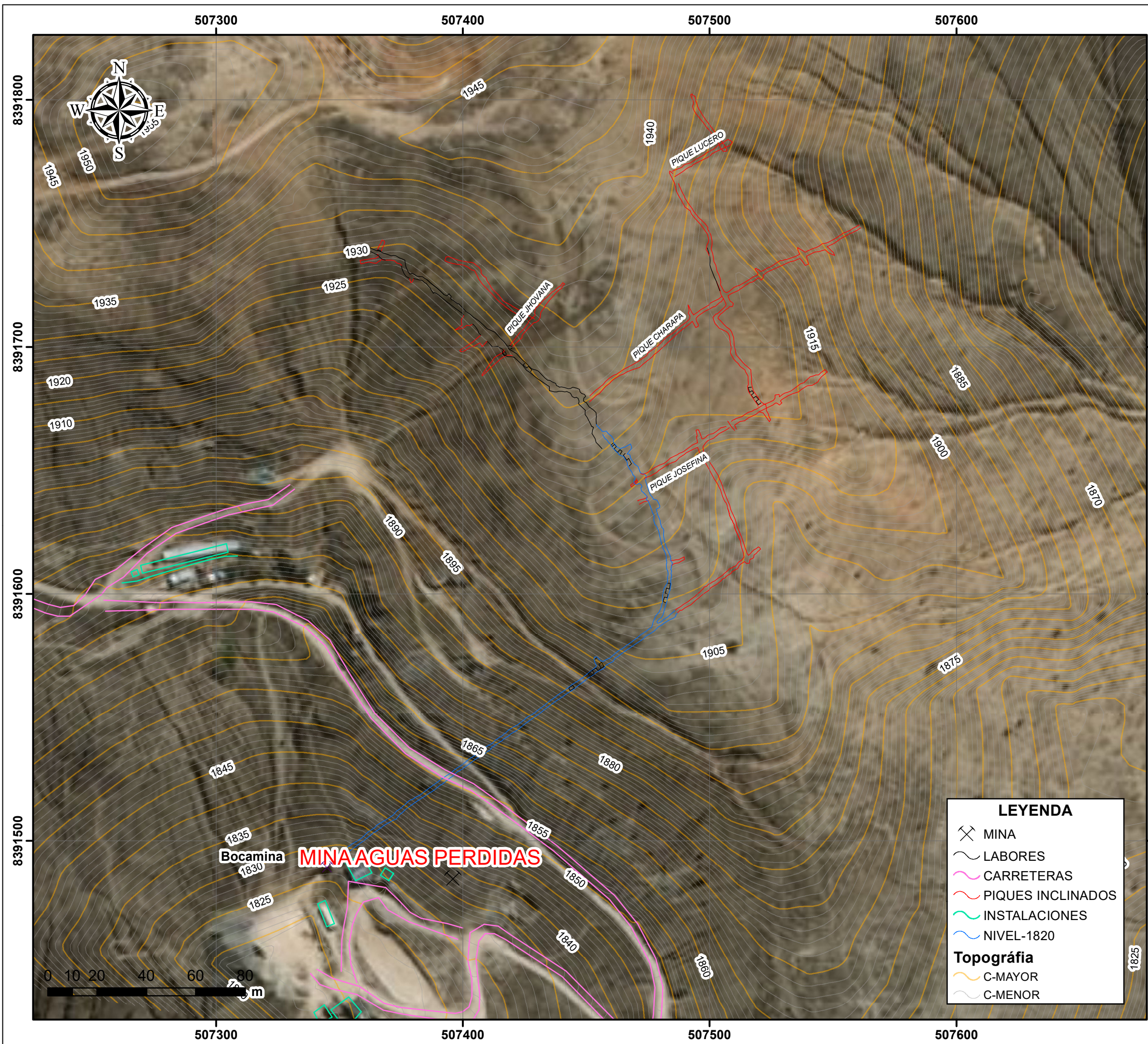


MAPA PROVINCIAL

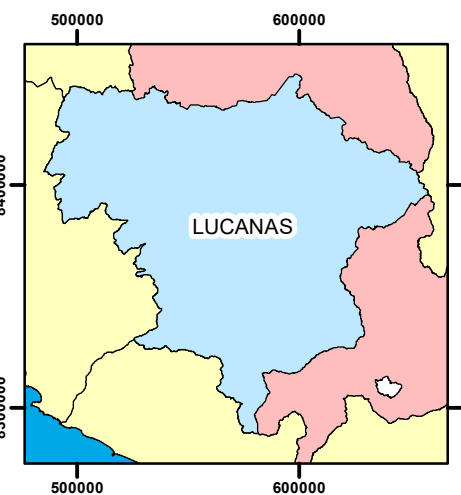


 <b>DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO (Aporte)</b>		
<b>Estudio Geomecánico</b> Distrito de Ocaña, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho		
<b>ACCESIBILIDAD</b>		
<b>Tesista:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Ingeniero asesor:</b> Victor Tolentino Y.	
<b>Dibujante:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Escala:</b> 1/135,000	<b>PLANO:</b>
<b>Datum:</b> WGS 84 <b>Proyección:</b> UTM Zona 18 S	<b>Formato:</b> A3	<b>Fecha:</b> junio del 2019
		<b>P - 02</b>






MAPA DEPARTAMENTAL



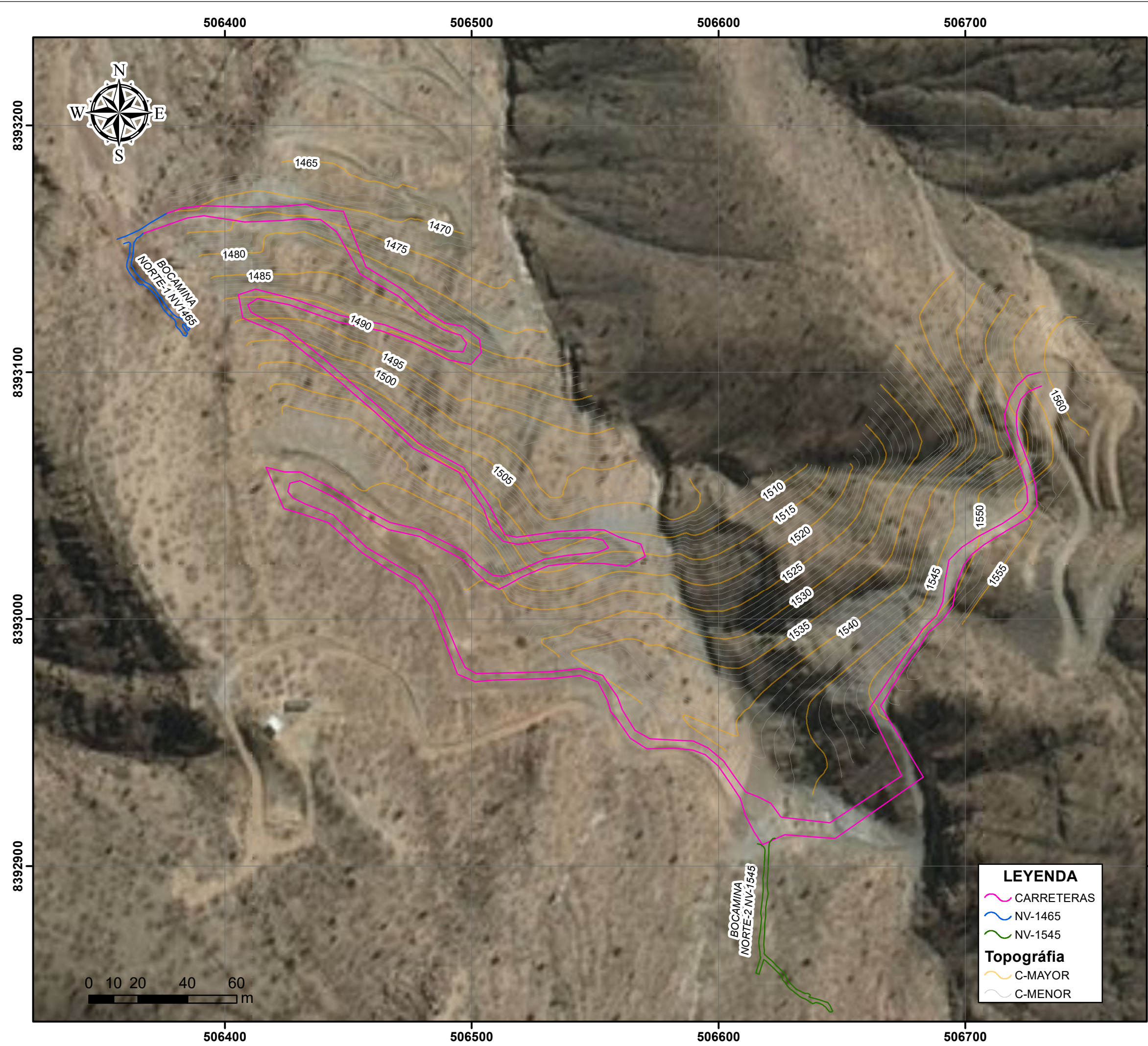
MAPA PROVINCIAL



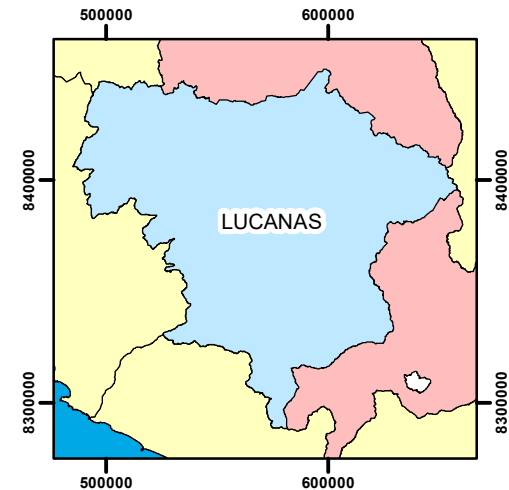
MAPA DISTRITAL

 <b>"DETERMINAR EL MÉTODO DESOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO (Aporte)"</b>		
<b>Estudio Geomecánico</b> Distrito de Ocaña, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho		
<b>UBICACIÓN DE LA BOCAMINA NV 1820</b>		
<b>Tesista:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Ingeniero asesor:</b> Victor Tolentino Y.	
<b>Dibujante:</b> Jorge Espejo Mosalve	<b>Escala:</b> 1/1,500	<b>PLANO:</b>
<b>Datum:</b> WGS 84 <b>Proyección:</b> UTM Zona 18 S	<b>Formato:</b> A3	<b>Fecha:</b> junio del 2019
		<b>P - 03</b>

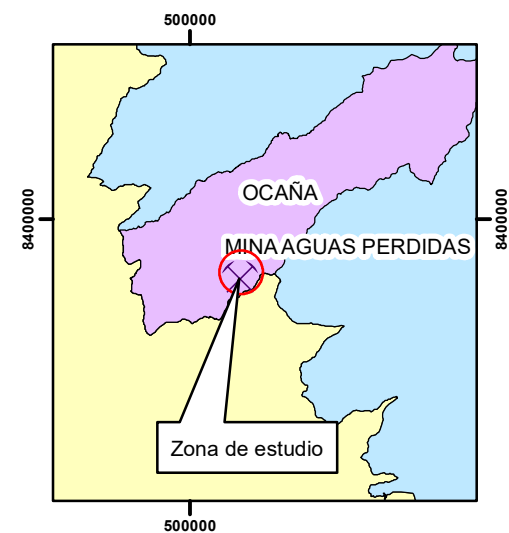





MAPA DEPARTAMENTAL



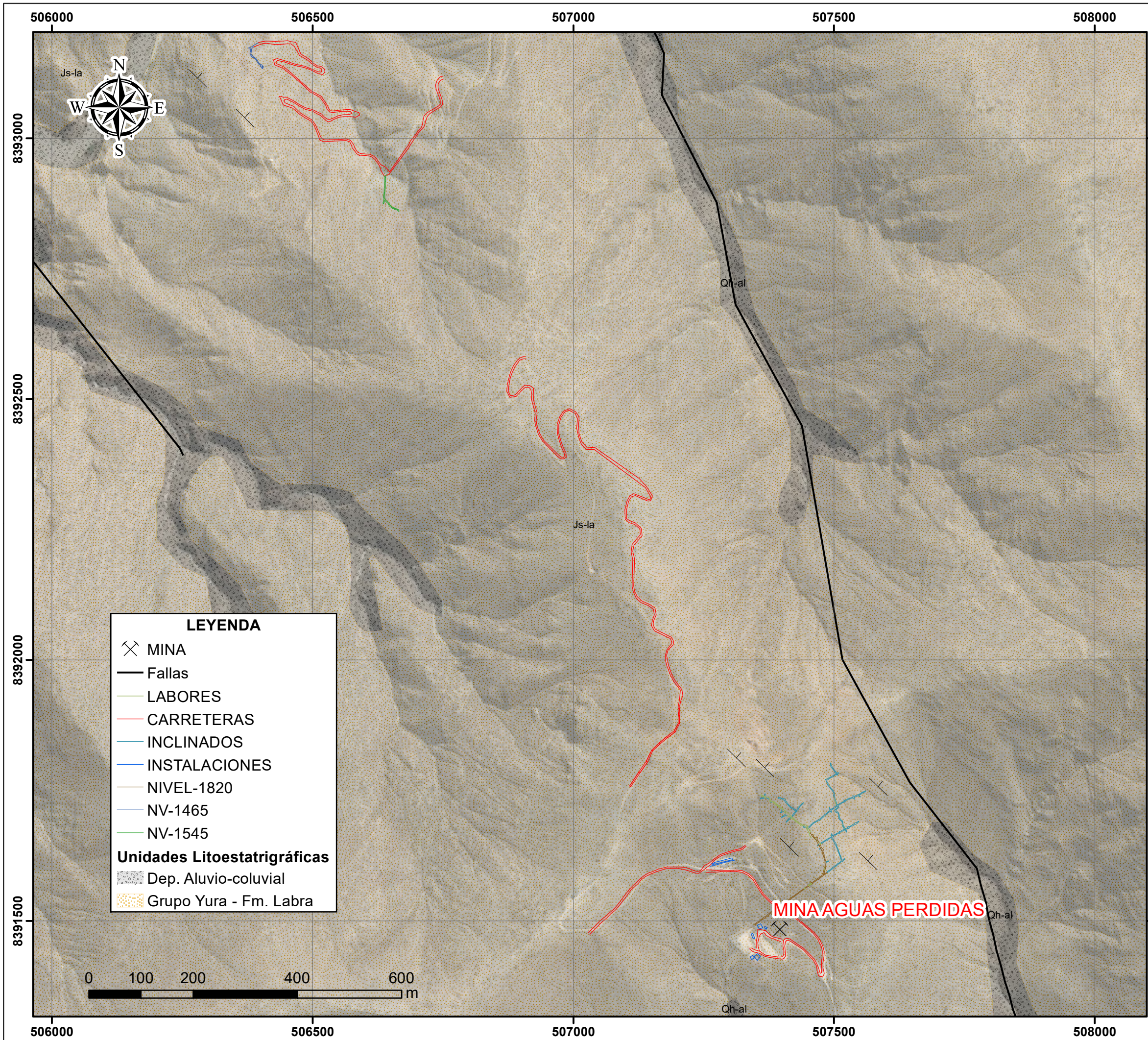
MAPA PROVINCIAL



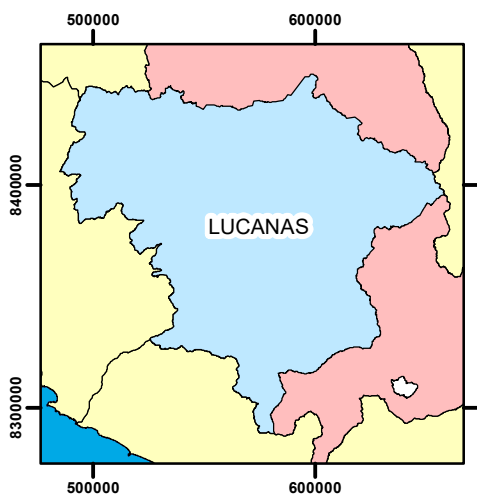
MAPA DISTRITAL

 <b>DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO (Aporte)</b>		
<b>Estudio Geomecánico</b> Distrito de Ocaña, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho		
<b>UBICACIÓN DEL NIVEL 1465-1545</b>		
<b>Tesista:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Ingeniero asesor:</b> Victor Tolentino Y.	
<b>Dibujante:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Escala:</b> 1/1,500	<b>PLANO:</b>
<b>Datum:</b> WGS 84 <b>Proyección:</b> UTM Zona 18 S	<b>Formato:</b> A3	<b>Fecha:</b> junio del 2019
		<b>P - 04</b>

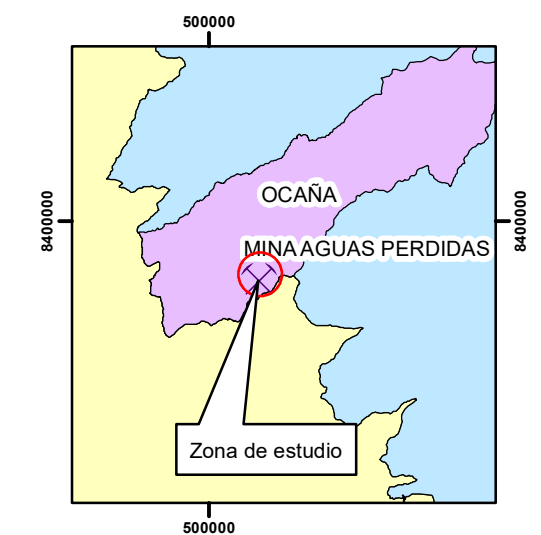





MAPA DEPARTAMENTAL



MAPA PROVINCIAL



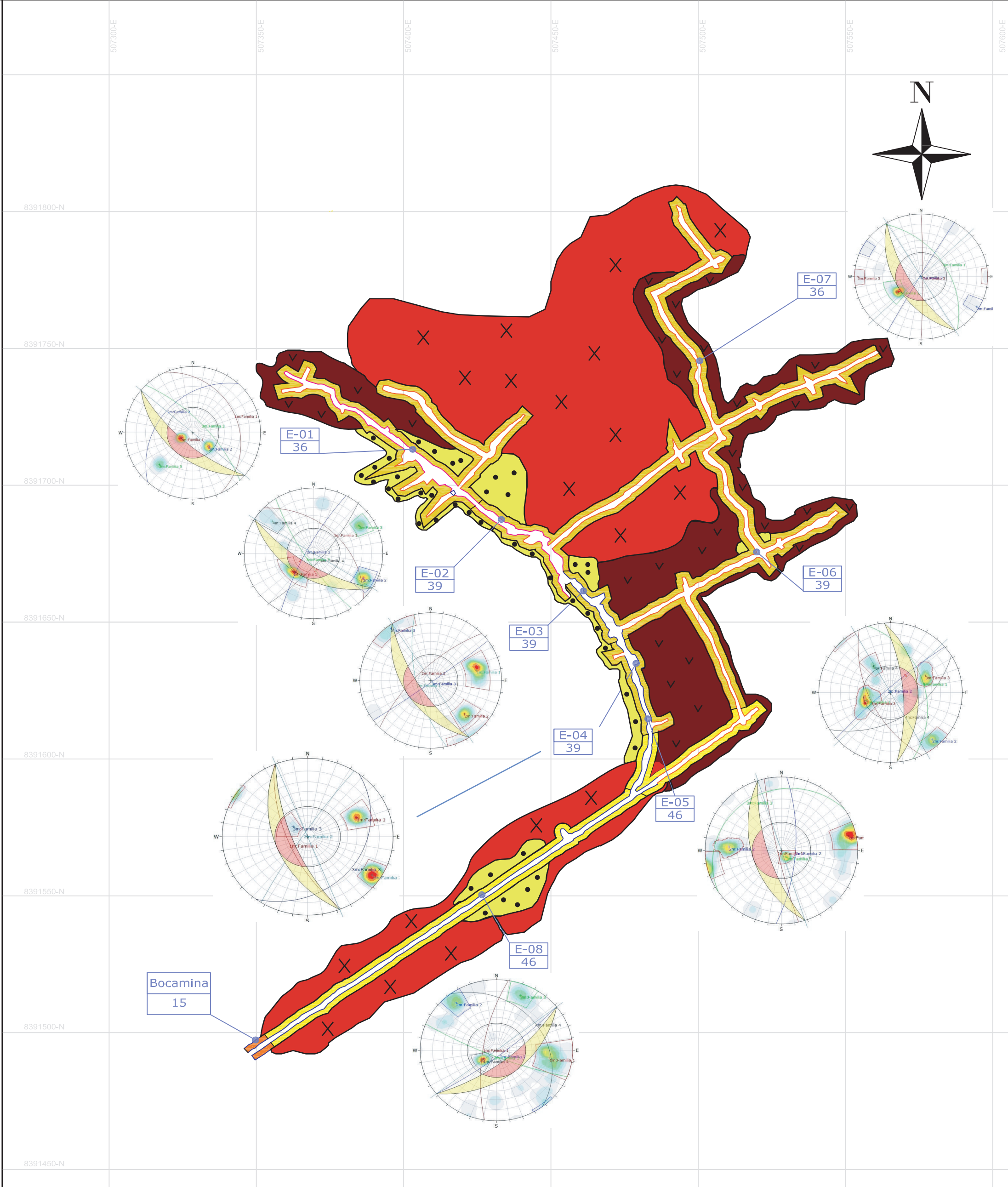
MAPA DISTRITAL

 <b>DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO (Aporte)</b>		
<b>Estudio Geomecánico</b> Distrito de Ocaña, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho		
<b>GEOLOGIA REGIONAL</b>		
<b>Tesista:</b> Jorge Espejo Monsalve	<b>Ingeniero consultor:</b> Víctor Tolentino Y.	
<b>Dibujante:</b> Jorge Espejo Monsalve.	<b>Escala:</b> 1/7,100	<b>PLANO:</b>
<b>Datum:</b> WGS 84 <b>Proyección:</b> UTM Zona 18 S	<b>Formato:</b> A3	<b>Fecha:</b> junio del 2019
		<b>P - 05</b>



## *Anexo II: Planos Geomecánicos*





Simbología Cromática por Calidad de Roca				
Categoría		RMR	Código de Colores	Descripción
I	I-A	91-100	0-0-255	Roca muy Buena I-A
	I-B	81-90	0-82-165	Roca muy Buena I-B
II	II-A	71-80	0-165-165	Roca Buena II-A
	II-B	61-70	0-165-0	Roca Buena II-B
III	III-A	51-60	117-255-0	Roca Regular III-A
	III-B	41-50	255-255-0	Roca Regular III-B
IV	IV-A	31-40	255-208-20	Roca Mala IV-A
	IV-B	21-30	255-153-51	Roca Mala IV-B
V	V-A	11-20	255-102-0	Roca muy Mala V-A
	V-B	00-10	255-0-0	Roca muy Mala V-B

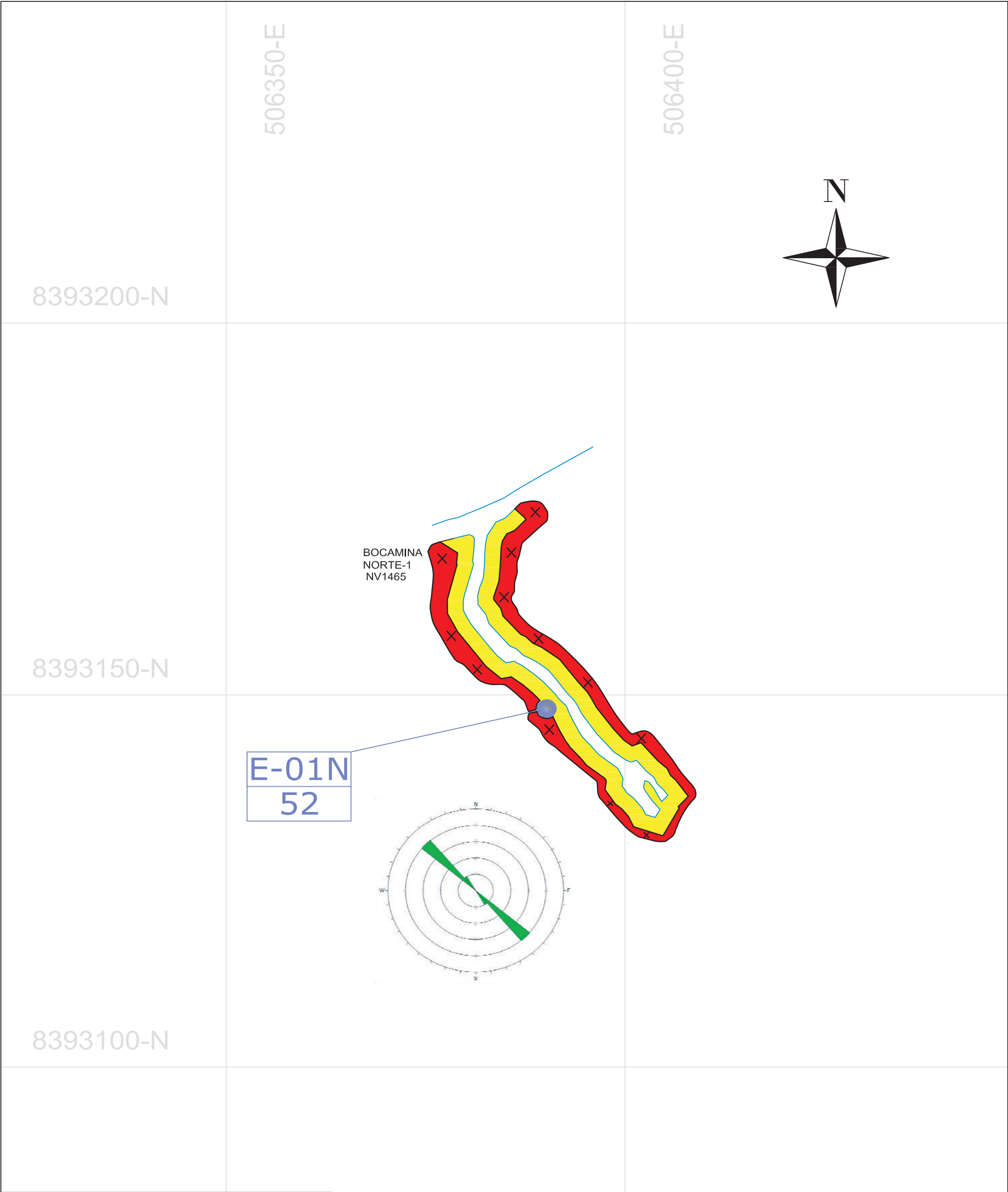
Geología Mina Aguas Perdidas	
	Intrusivo Granodiorítico
	Facies de Areniscas
	Facies volcánicas

FECHA	junio 2019
PROYECCION	UTM
DATUM	WGS 84

Tesista: Jorge Andres Espejo Monsalve
Asesor: Victor Tolentino Yparraguirre

"DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO" (Aporte)	
PLANO GEOMECÁNICO GALERÍA - TAJOS PIQUES - CRUCEROS	PLANO : P - 07
NUMERO PLANO 07	REV. 01
Escala : 1:1500	





Simbología Cromática por Calidad de Roca			
Categoría		RMR	Descripción
I	I-A	91-100	Roca muy Buena I-A
	I-B	81-90	Roca muy Buena I-B
II	II-A	71-80	Roca Buena II-A
	II-B	61-70	Roca Buena II-B
III	III-A	51-60	Roca Regular III-A
	III-B	41-50	Roca Regular III-B
IV	IV-A	31-40	Roca Mala IV-A
	IV-B	21-30	Roca Mala IV-B
V	V-A	11-20	Roca muy Mala V-A
	V-B	00-10	Roca muy Mala V-B

SIMBOLOGÍA

- Ubic. estación de mapeo geomecánico
- Número de estación
- Valoración de la masa rocosa (RMR)

Geología Mina Aguas Perdidas

Intrusivo Granodiorítico



Tesista: Jorge Andres Espejo Monsalve

Asesor: Victor Tolentino Yparraguirre

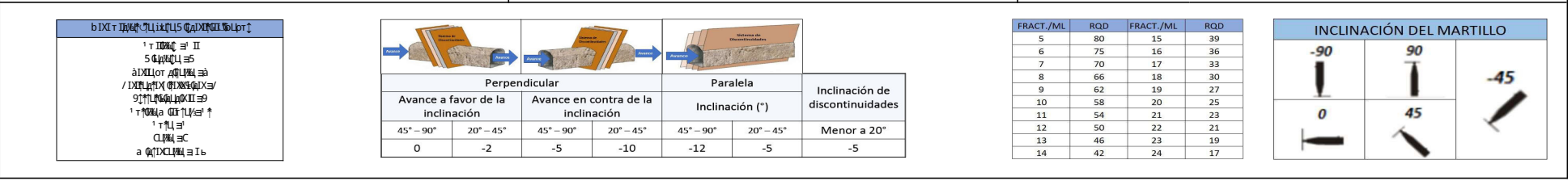
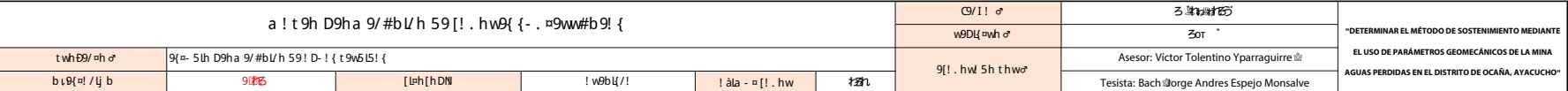
"DETERMINAR EL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE USO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MINA AGUAS PERDIDAS EN EL DISTRITO DE OCAÑA, AYACUCHO " (Aporte)

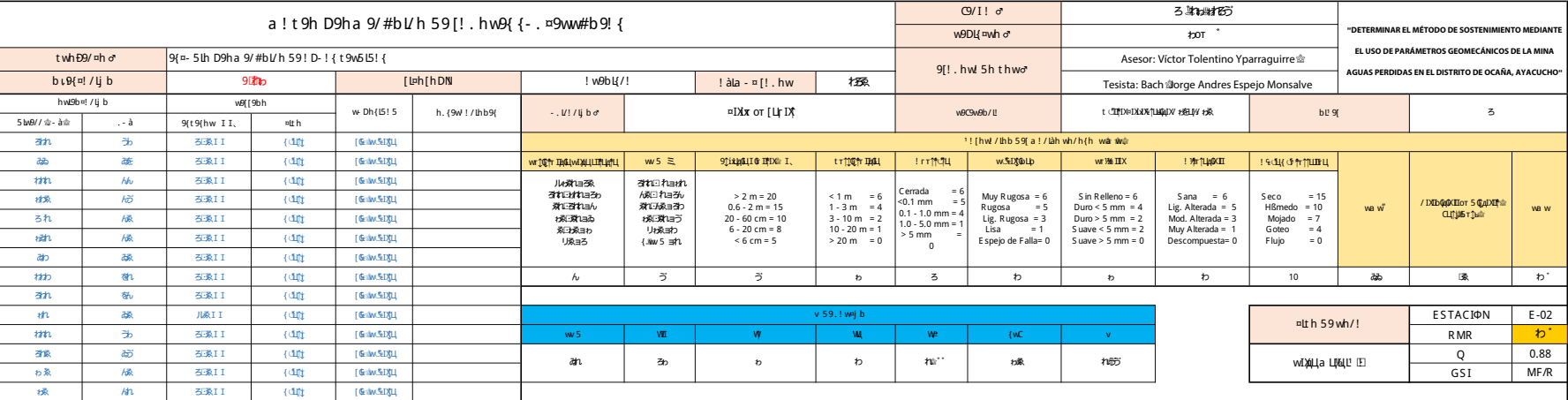
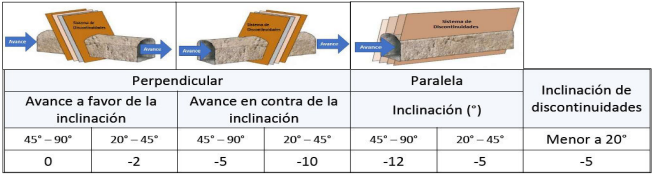
PLANO GEOMECÁNICO GALERÍA NIVEL 1465

PLANO : P - 08

## ***Anexo III: Estaciones Geomecánicas***

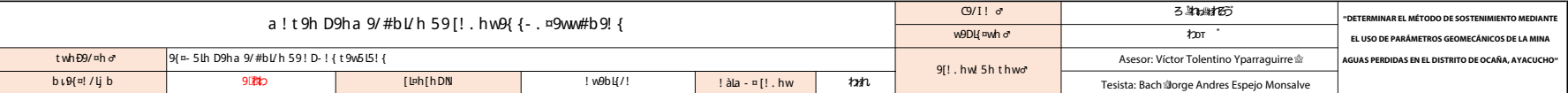
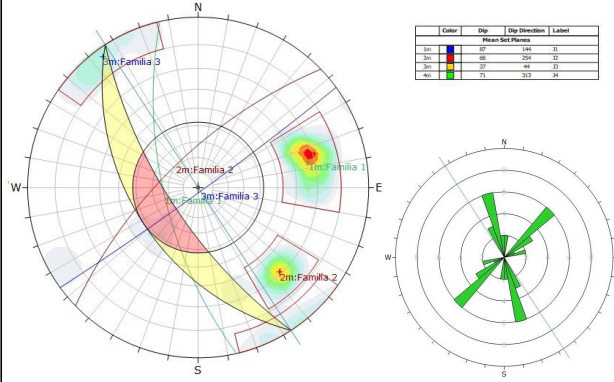




[illegible][illegible]

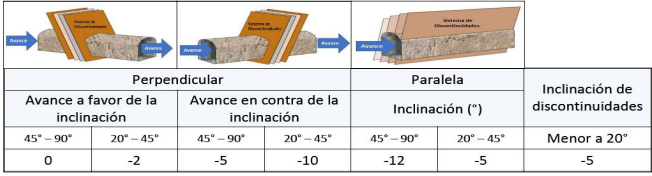
FRACT./ML	RQD	FRACT./ML	RQD
5	80	15	39
6	75	16	36
7	70	17	33
8	66	18	30
9	62	19	27
10	58	20	25
11	54	21	23
12	50	22	21
13	46	23	19
14	42	24	17



[illegible]

LIDQW D/L	D/LIDQW C/LIDQW D/LIDQW	C/LIDQW D/LIDQW	/LIDQW D/LIDQW	W/LIDQW D/LIDQW	LIDQW D/LIDQW	
	C	W	a	W	1	2
	C	W	.	W	1	2
	a C	W	w	W	1	2
	C	W	t	W	1	2
	a	(W)	a t	W	1	2
GS1	Tipo de roca	Clase	Indice Q	Indice R MR	1	2
F/B	W/LIDQW D/LIDQW	C	500 - 55	W	1	2
	W/LIDQW D/LIDQW	C		W	1	2
F/R, MF/B	W/LIDQW D/LIDQW	C	55 - 6	W	1	2
	W/LIDQW D/LIDQW	C		W	1	2
MF/R	W/LIDQW D/LIDQW	C	6 - 2	W	Prom. Valores	29.20
MF/P, F/P	W/LIDQW D/LIDQW	C	2 - 0.6	W		
IF/R, IF/P	W/LIDQW D/LIDQW	C	0.6 - 0.2	W		
MF/MF, IF/MF	W/LIDQW D/LIDQW	C	0.2 - 0.07	W	Dens. Roca Prom.	2.66
T/P, T/M	W/LIDQW D/LIDQW	C	<0,07	W	Densidad K/N/m3	26.09
	W/LIDQW D/LIDQW	C		W	Resistencia (MPa)	25

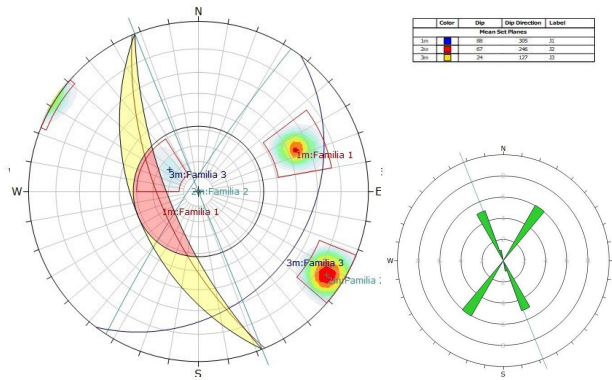
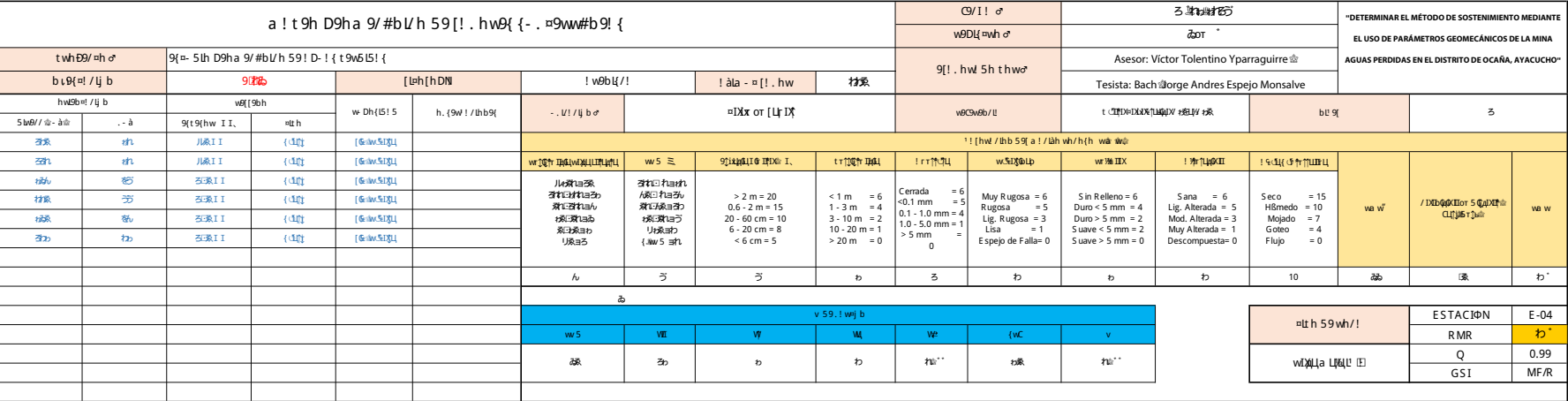
h. {9w1 // hb9}  $\sigma$

[illegible]

FRAC./ML	RQD	FRAC./ML	RQD
5	80	15	39
6	75	16	36
7	70	17	33
8	66	18	30
9	62	19	27
10	58	20	25
11	54	21	23
12	50	22	21
13	46	23	19
14	42	24	17







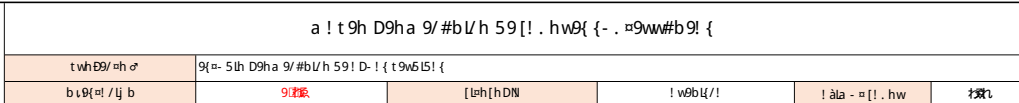
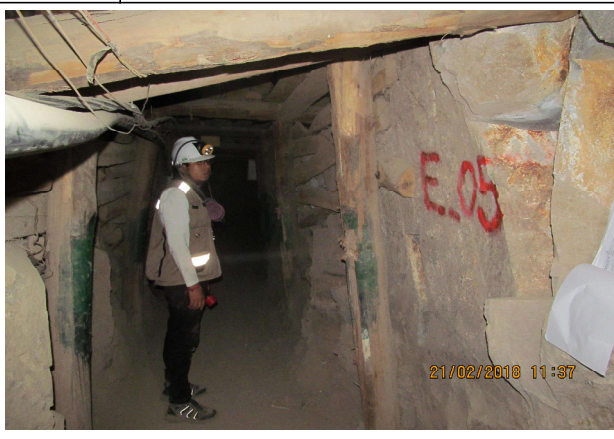
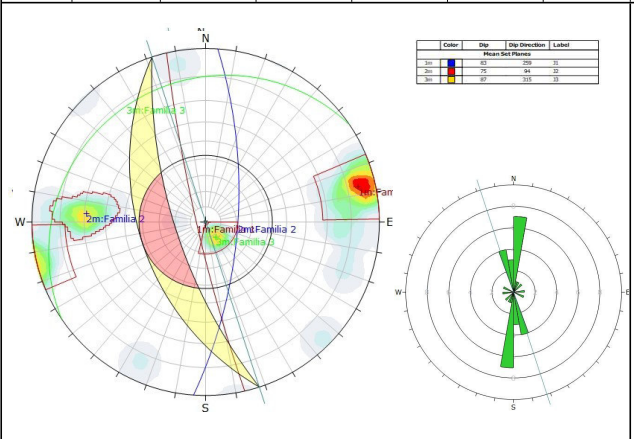
LIDOR D/L	D/L/Dior C/L/L/L/L/L/L/L	C/L/L/L/L/L/L/L/L	/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L	L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	
	C	カ	a	カ	1	カ
	C	カ	.	カ	1	カ
	a C	カ	w	カ	1	カ
	LC	カ	t	カ	1	カ
w	(C/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L)	a t	カ	1	カ	
GSI	Tipo de roca	Clase	Índice Q	Índice R MR	1 <td>カ</td>	カ
F/B	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	500 - 55	カ	1	カ
	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ		カ	1	カ
F/R, MF/B	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	55 - 6	カ	1	カ
	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ		カ	1	カ
MF/R	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	6 - 2	カ	Prom. Valores	32.70
MF/P, F/P	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	2 - 0.6	カ		
IF/R, IF/P	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	0.6 - 0.2	カ	Dens. Roca Prom.	2.66
MF/MP, IF/MP	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ	0.2 - 0.07	カ	Densidad kN/m3	26.09
	w/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L/L	カ		カ	Resistencia (MPa)	カ

h. (9w) /lhb9(σ

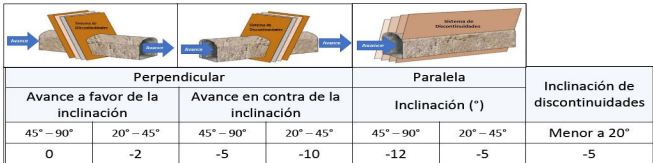
[illegible]

FRACT./ML	RQD	FRACT./ML	RQD
5	80	15	39
6	75	16	36
7	70	17	33
8	66	18	30
9	62	19	27
10	58	20	25
11	54	21	23
12	50	22	21
13	46	23	19
14	42	24	17



[illegible][illegible]

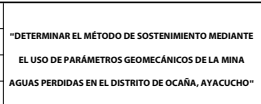
bIXI t I d d e l l i x l u s G d i X G d i l o r t 1 t I d d e l l i x l u s G d i X G d i l o r t 5 G d i X G d i l o r t a d i X G d i l o r t / d i X G d i l o r t 9 t I d d e l l i x l u s G d i X G d i l o r t 1 t I d d e l l i x l u s G d i X G d i l o r t 1 t I d d e l l i x l u s G d i X G d i l o r t G d i X G d i l o r t a d i X G d i l o r t
---



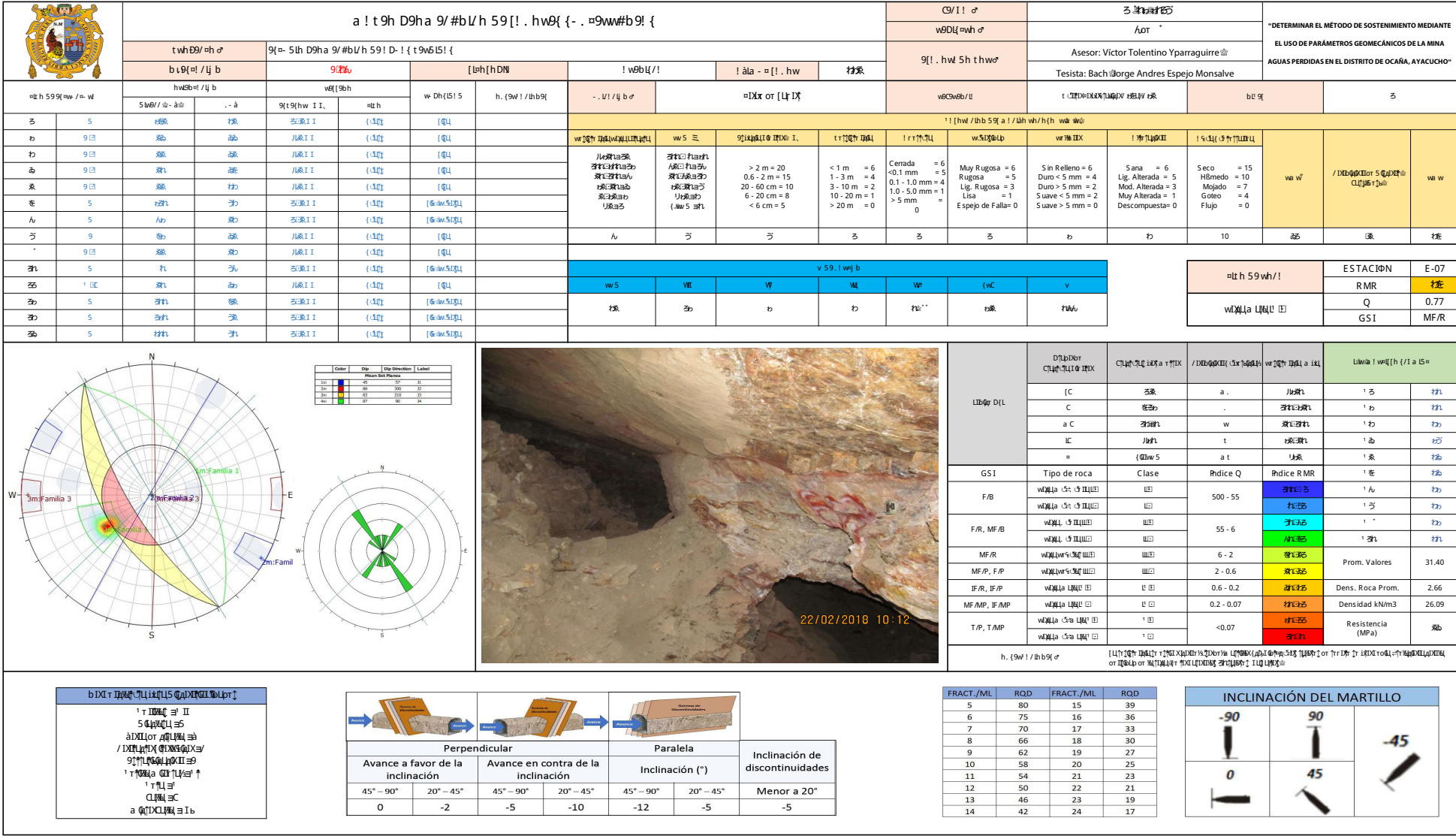
FRACT./ML	RQD	FRACT./ML	RQD
5	80	15	39
6	75	16	36
7	70	17	33
8	66	18	30
9	62	19	27
10	58	20	25
11	54	21	23
12	50	22	21
13	46	23	19
14	42	24	17

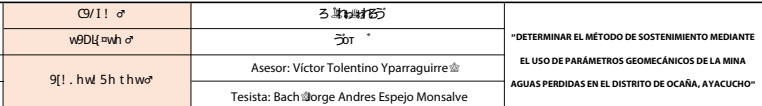




[illegible]

INCLINACIÓN DEL MARTILLO		
-90	90	-45
0	45	



[illegible]

INCLINACIÓN DEL MARTILLO		
-90	90	-45
0	45	



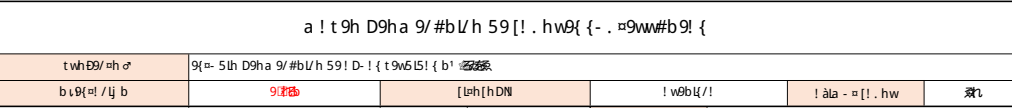
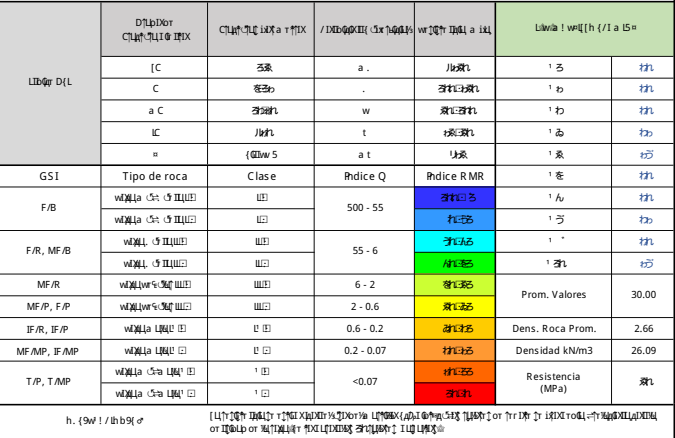
[illegible]

Figure 1 consists of two diagrams. The left diagram is a circular plot with a compass rose indicating North (N), South (S), East (E), and West (W). It shows three great circles (red, blue, and yellow) and three shaded regions (red, blue, and yellow) labeled J1, J2, and J3. The right diagram is a circular plot with concentric circles and radial lines, showing a green shaded region representing the mean set planes.



The diagram illustrates three types of structural discontinuities in a rock mass, each with a 3D block diagram and a table of values.

- Perpendicular:** The discontinuity is perpendicular to the direction of stress. The table shows values for advance favoring or against the inclination.
- Inclinación de discontinuidades:** The discontinuity is inclined relative to the direction of stress. The table shows values for inclination in degrees.
- Paralela:** The discontinuity is parallel to the direction of stress. The table shows values for inclination in degrees.

Perpendicular		Inclinación de discontinuidades		Paralela		Inclinación de discontinuidades
Avance a favor de la inclinación		Avance en contra de la inclinación		Inclinación (°)		
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	Menor a 20°
0	-2	-5	-10	-12	-5	

INCLINACIÓN DEL MARTILLO		
-90	90	-45
0	45	

## ***Anexo IV: Datos de Laboratorio***



En este anexo se muestra en primera instancia una tabla que contiene el numero de muestras extraídas durante el trabajo de campo como parte de un trabajo realizado por la Consultora GCI (Geotecnistas, Constructores e Ingenieros) para la Sociedad Minera Alta Sierra S.A. en las minas Aguas Perdidas con la cual se pudo realizar el trabajo de tesis expuesto anteriormente y la Mina Perricholli perteneciente al mismo grupo. A continuación, se muestra la tabla:

N°	Codigo de Muestra	Mina-Procedencia	Cantidad - Tipo Ensayo	Tipo Muestra
1	M-1	Perricholi	1 - Ensayo de Propiedades Físicas 1 - Ensayo de Propiedades Elásticas 1 - Ensayo Triaxial	Roca de Caja
2	M-2	Perricholi		
3	M-3	Perricholi		
4	M-4	Perricholi	1 - Ensayo de Propiedades Físicas 1 - Ensayo de Propiedades Elásticas 1 - Ensayo Triaxial	Mineral
5	M-5	Perricholi		
6	M-6	Aguas Perdidas	2 - Ensayo de Propiedades Físicas 2 - Ensayo de Propiedades Elásticas 2 - Ensayo Triaxial	Roca de Caja
7	M-7	Aguas Perdidas		
8	M-8	Aguas Perdidas		
9	M-9	Aguas Perdidas		
10	M-10	Aguas Perdidas		

Las muestras que sirvieron para el modelamiento geomecánico son M-6, M-7, M-8, M-9 y M-10.

El informe llamado “Reporte de ensayos de laboratorio” con código 1810122/18/LMR/i-Test fue realizado por el laboratorio GEOMECH – Ingeniería de rocas y suelos para la Estabilidad de Taludes, empresa perteneciente al GRUPO GEOMECAÁNICA LATINA S.A. y fue entregado el miércoles 14 de marzo del 2018 teniendo como competente la Versión 1.1.

De este informe se han tomado datos de propiedades físicas de la roca intacta, ensayos de propiedades elásticas y ensayos de propiedades mecánicas tales como ensayo de compresión simple y ensayos de compresión triaxial realizados con un equipo servo hidráulico controlado por computadora. De esta manera se encontraron los parámetros usados en el modelamiento geomecánico de la tesis en cuestión.

El grupo encargado del trabajo en laboratorio se encontraba conformado:

- Ing. Miguel A. Chávez M.
- Ing. Oswaldo Escudero M.
- Tec. Edison Solari A.

Elaboración de informe:

- Ing. Miguel A. Chávez M. Especialista en Instrumentación Geotécnica y Laboratorio

Revisor:

- MSc. Gaither De la Sota P. Consultor Geomecánico

## Documentos de referencia para el Reporte de ensayos de Laboratorio

### A. REFERENCIAS PARA ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS

- Sugerencias Del ISRM: “SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING WATER CONTENT POROSITY DENSITY ABSORPTION AND RELATED PROPERTIES”, “SUGGESTED METHODS FOR DETERMINATION OF THE WATER CONTENT OF A ROCK SAMPLE”.
- Norma ASTM C97-02: “STANDARD TEST METHODS FOR ABSORPTION AND BULK SPECIFIC GRAVITY OF DIMENSION STONE”.

### B. REFERENCIAS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

- Sugerencias Del ISRM: “SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING DEFORMABILITY OF ROCK MATERIALS IN UNIAXIAL COMPRESSION”.
- Norma ASTM D2938-95(2002): “STANDARD TEST METHOD FOR UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS”.

### C. REFERENCIAS PARA ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS

- Sugerencias Del ISRM: “SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING DEFORMABILITY OF ROCK MATERIALS IN UNIAXIAL COMPRESSION”.
- Norma ASTM D7012-04: “STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULI OF INTACT ROCK CORE SPECIMENS UNDER VARYING STATES OF STRESS AND TEMPERATURES”.

### D. REFERENCIAS PARA ENSAYO TRIAXIAL ESTÁNDAR/ESPECIAL – MULTIESTADO

- Sugerencias Del ISRM: “SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING THE STRENGTH OF ROCK MATERIALS IN TRIAXIAL COMPRESSION”.
- Norma ASTM 2664-95: “STANDARD TEST METHOD FOR TRIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF UNDRAINED ROCK CORESPECIMENS WITHOUT PORE PRESSURE MEASUREMENTS”.

Tablas con Resultados de Laboratorio

N°	C.Muestra	Mina	Cantidad- Tipo de Ensayo	Tipo de Muestra
1	M-6	Aguas Perdidas	Ensayo de propiedades Físicas Ensayo de Propiedades Elásticas Ensayo Triaxial	Roca Caja
2	M-7	Aguas Perdidas		
3	M-8	Aguas Perdidas		
4	M-9	Aguas Perdidas		
5	M-10	Aguas Perdidas		

Resultados de Ensayos de Propiedades Físicas

ID Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Densidad Seca (g/cm3)	Densidad Húmeda (g/cm3)	Peso Específico Aparente (KN/cm3)	Contenido de Humedad (%)
M-10	5.48	2.07	2.72	2.72	26.69	0.23
	5.48	2.03	2.74	2.75	26.91	0.23
	5.48	2.03	2.46	2.5	24.52	1.42

## Resultado de Ensayos de Propiedades Elásticas

ID Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (KN)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
M-8	5.48	10.98	161.6	68.52	12.95	0.22

R.E.: Relación de Esbeltez

R.E. =  $H/D \approx 2.0$

## Resultados de Ensayo Triaxial

ID Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Conf. Sigma 3 (KPa)	Comp. Sigma 1 (Mpa)	Resist. Comp. Uniaxial (MPa)	Cohesión (MPa)
M-8	5.48	110	0	68.52	73.93	12.56
M-8	5.48	106	6	108.51		
M-10	5.48	110	2	97.17		
M10	5.48	110	4	104.55		

R.E.: Relación de Esbeltez

R.E. =  $H/D \approx 2.0$

Nota 1: R.E. = Relación de Esbeltez, es más riguroso e influyente en Pruebas UCS y Triaxial.

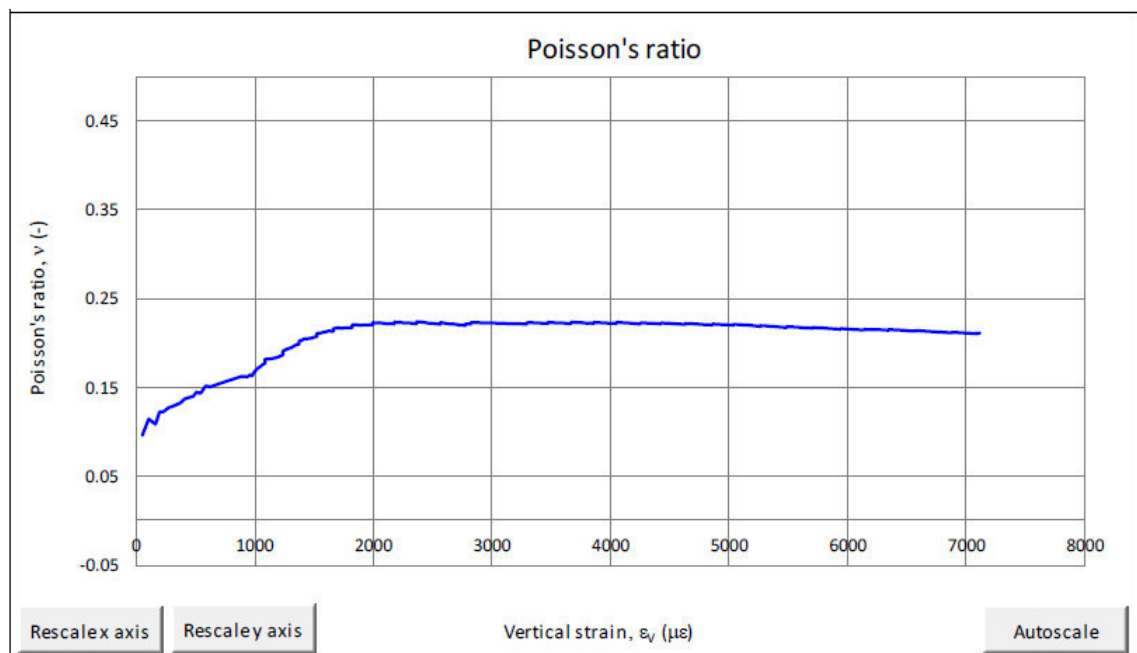
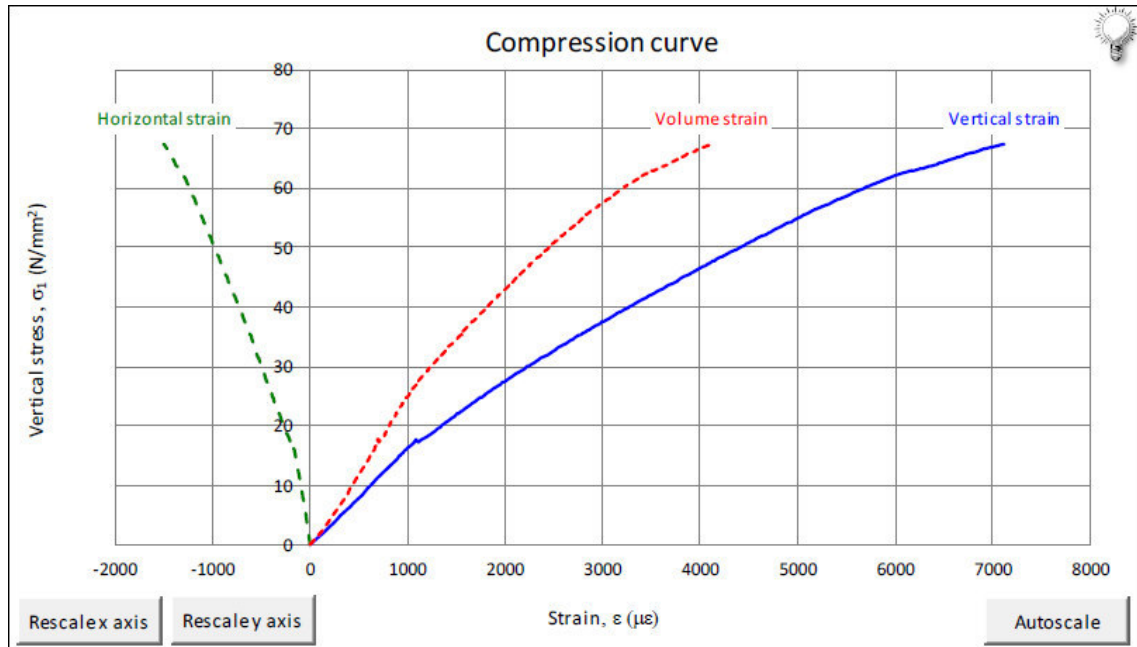
Nota 2: Conf. = Confinamiento Lateral.

Nota 3: Esf. Comp. = Esfuerzo de Compresión, de Rotura, Vertical.

Nota 4: Áng. Fricción Interna = Ángulo de Fricción Interno.

## Gráficos de Constante Elástica “v” de la muestra M-8

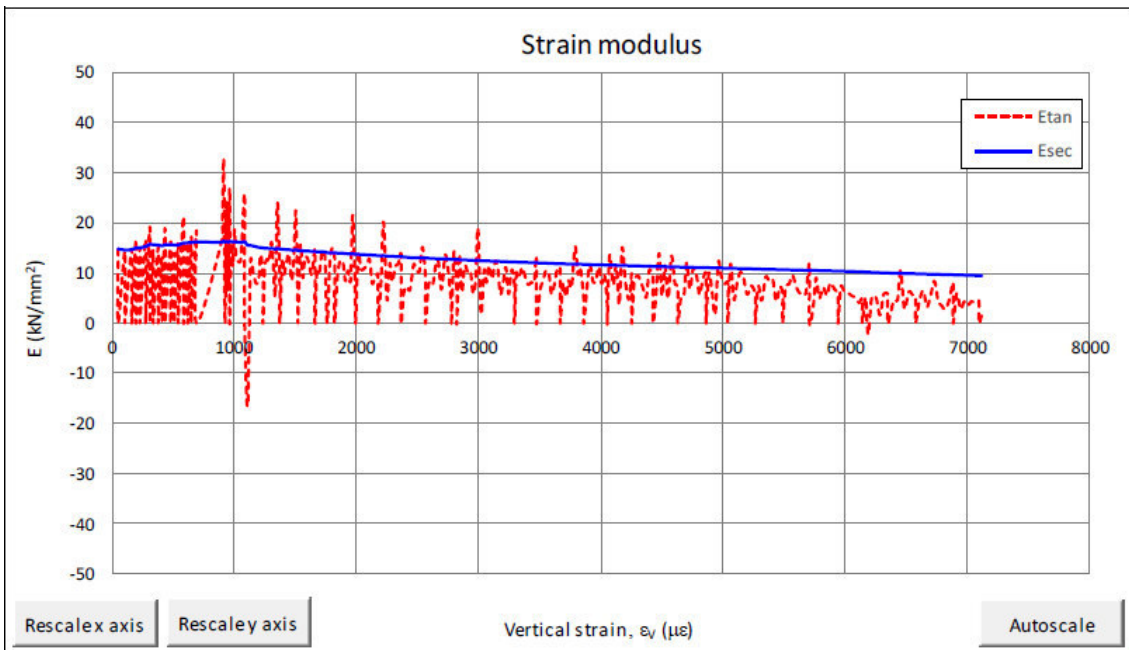
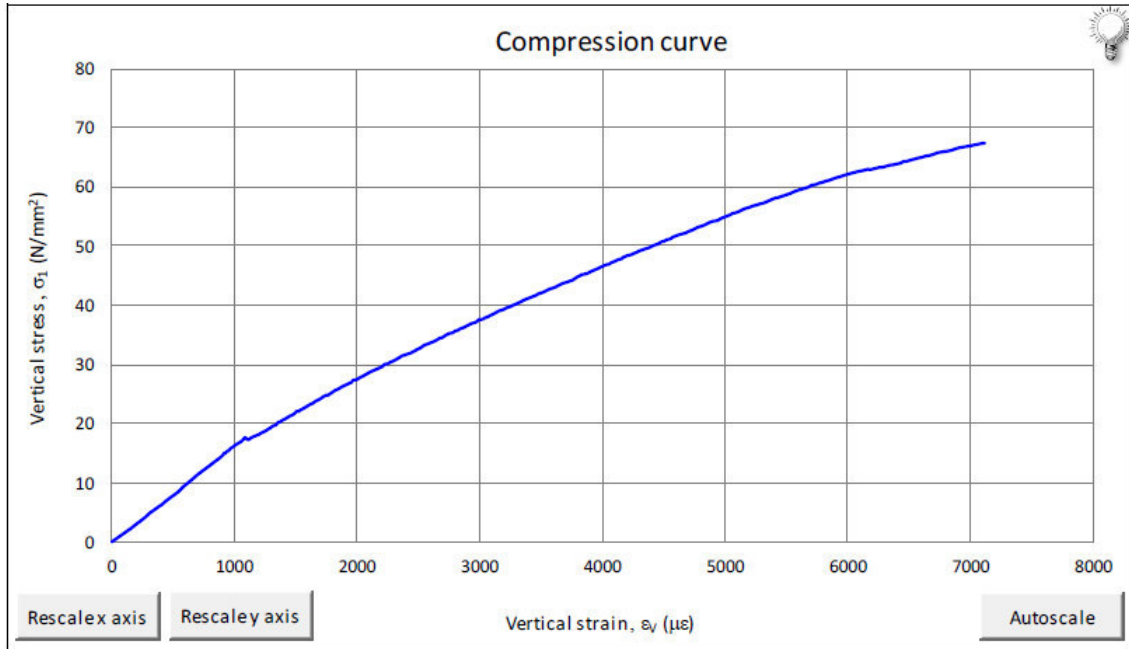
UNIAXIAL COMPRESSION TEST ON ROCK SAMPLES (ISRM Suggested Method)			
<b>TEST DETAILS</b>			
Certificate:	181022	Specimen height:	110.00 mm
Test date:	08/03/2018	Specimen area:	23.59 cm <sup>2</sup>
Client:	GCI	Maximum strength:	67.40 N/mm <sup>2</sup>
Site:	LAB. GEOMECH	Poisson's ratio at failure:	0.211
Location:	LIMA	Poisson's ratio at vertical stress of 33.61 N/mm <sup>2</sup> :	0.223
Specimen label:	M8		
Specimen type:	CORE		





## Gráficos de Constante Elástica “E” de la muestra M-8

UNIAXIAL COMPRESSION TEST ON ROCK SAMPLES (ISRM Suggested Method)			
<b>TEST DETAILS</b>			
Certificate:	181022	Specimen height:	110.00 mm
Test date:	08/03/2018	Specimen area:	23.59 cm <sup>2</sup>
Client:	GCI	Maximum strength:	67.40 N/mm <sup>2</sup>
Site:	LAB. GEOMECH	$E_{tan}^*$ :	8.02 kN/mm <sup>2</sup>
Location:	LIMA	$E_{sec}^*$ :	12.95 kN/mm <sup>2</sup>
Specimen label:	M8	$E_{average}$ :	10.49 kN/mm <sup>2</sup>
Specimen type:	CORE	* Calculated at a vertical stress of 33.61 N/mm <sup>2</sup>	



# Gráficos de Ensayo de Compresión Triaxial

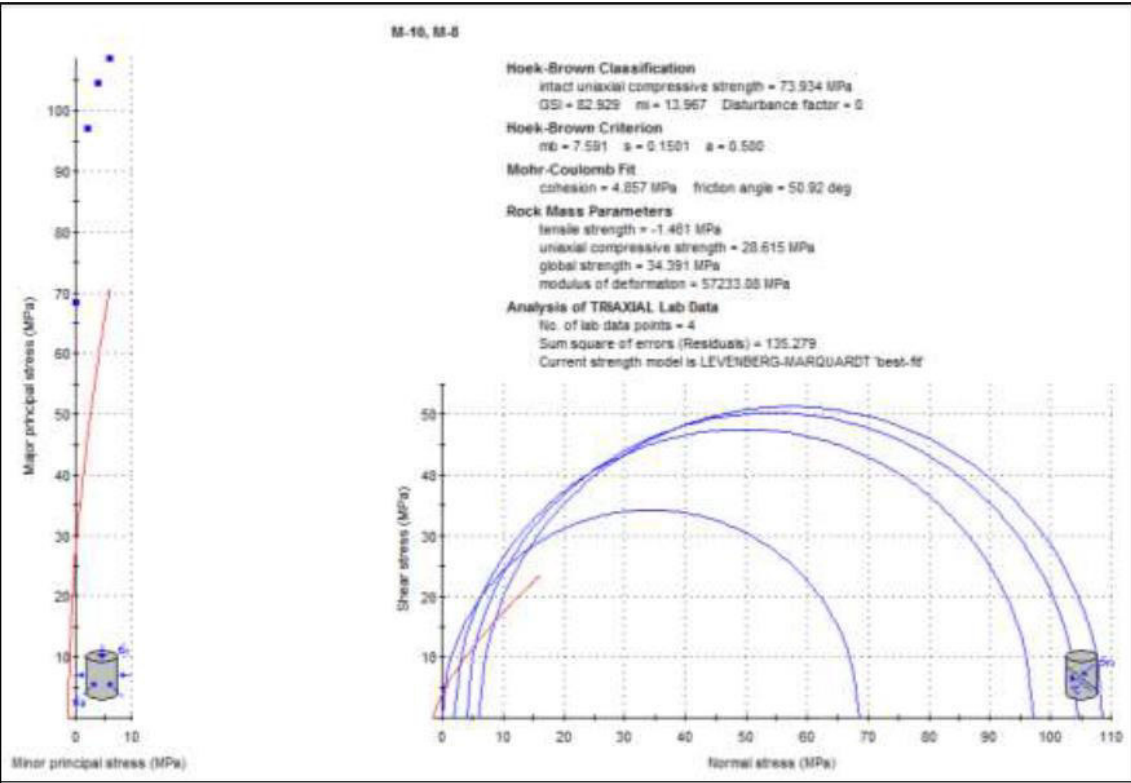


Gráfico resultante a partir de la envolvente de Hoek-Brown de las muestras M-8 y M-10

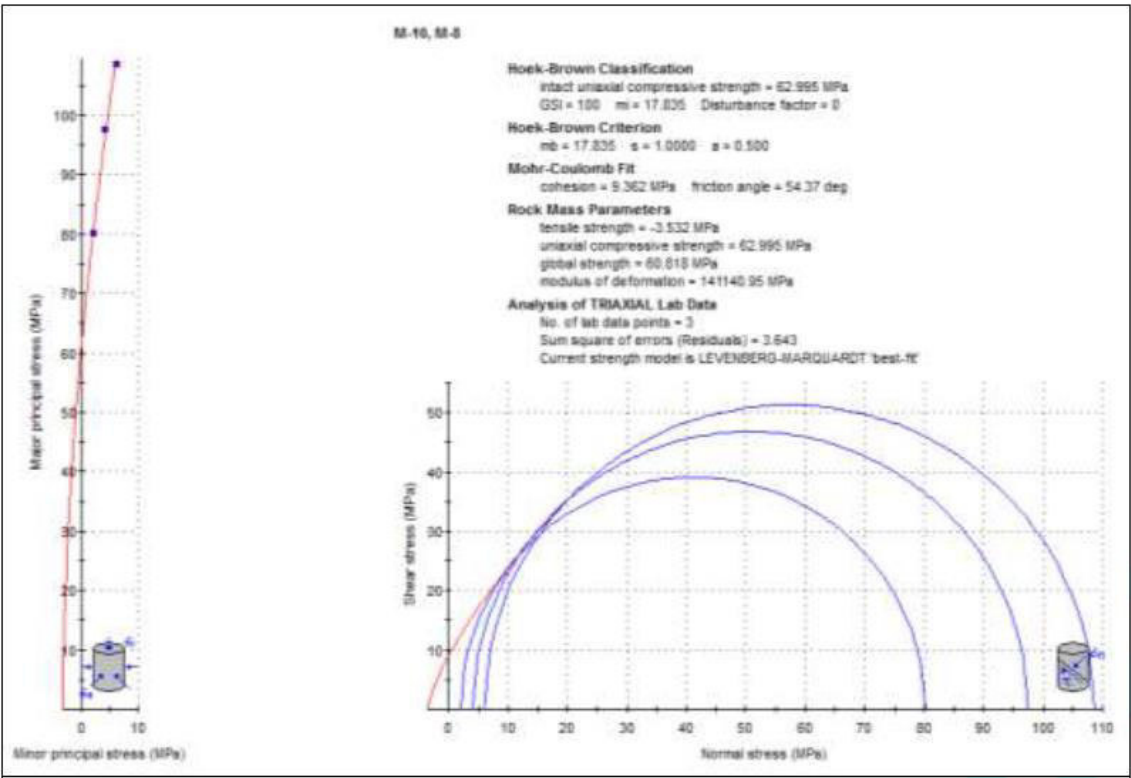
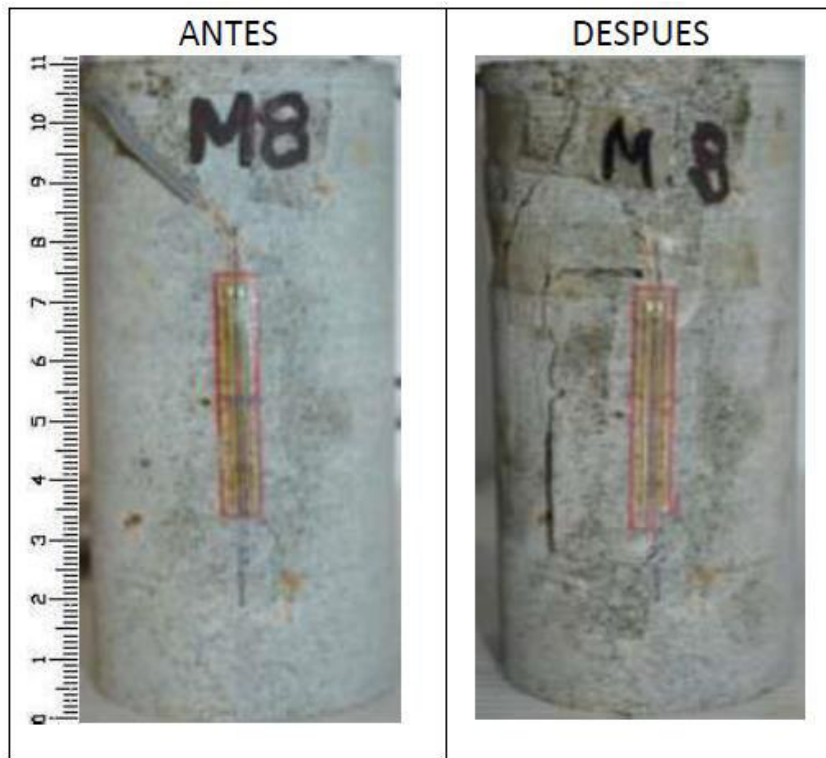


Gráfico resultante a partir de la envolvente de Mohr-Coulomb de las muestras M-8 y M-10

## REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO DE CONSTANTES ELÁSTICAS



## REGISTRO DE FOTOS EN MUESTRAS ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO TRIAXIAL

